7. Eficiencia técnica de los pequeños productores agropecuarios en Colombia: una aplicación de metafrontera estocástica

Ligia Alba Melo-Becerra
Antonio José Orozco-Gallo*

El sector agropecuario ha sido tradicionalmente una actividad importante de la economía colombiana. No obstante, su participación en la producción nacional ha descendido durante los últimos años, pues pasó de representar el 25% del PIB en 1965 a 6% en 2014. Además, Colombia fue el único país de América Latina donde el sector creció significativamente menos que la economía en su conjunto durante los últimos diez años (Gómez *et al*., 2011). Esta caída se ha visto reflejada en una menor tasa de crecimiento de la productividad del sector y en un estancamiento del área cultivada, la cual registra actualmente una extensión similar a la observada en 1990 (Ludena, 2010; Cano, 2013).

El bajo desarrollo del sector agropecuario colombiano encuentra sus raíces en problemas estructurales y en las características de un sistema agrario excluyente, inequitativo y sustentado en una alta concentración de la tierra (Junguito, Perfetti y Becerra, 2014; Vergara, 2010; Cano, 2013). Además, varios estudios han encontrado que el sector presenta ineficiencias en el uso del suelo, escasa adopción de tecnología, poca investigación

* Los autores son, en su orden: investigadora principal del Banco de la República y profesional de Estudios Económicos del Banco de la República, sucursal Barranquilla.
Los autores agradecen a Boris E. Bravo-Ureta, profesor del Departamento de Economía Agrícola de la Universidad de Connecticut, por las sugerencias y orientación para el desarrollo de este documento; a Carlos Gustavo Cano, miembro de la Junta Directiva del Banco de la República, por las recomendaciones y guía para conseguir información necesaria en la investigación; a José Gabriel Tafur e Iván Rolando Castillo, del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, por el suministro de información y colaboración en el procesamiento de la base de datos; a Claudia Patricia Uribe, de Corpoica, por el suministro de información sobre sistemas productivos en Colombia. También agradecemos a Jaime Bonet, Luis Armando Galvis, Jhorland Ayala, Jesús Barrios, Héctor Zárate y a un evaluador anónimo por sus comentarios y sugerencias, y a Helena González y Esteban Larrota por su asistencia durante el desarrollo de este trabajo.

agrícola, altos costos de la tierra y deficiente asignación de los recursos públicos (Gómez *et al*., 2011; Junguito *et al*., 2014; Vergara, 2010; Cano, 2013). Por estas razones, el interés en medir y entender las causas de la ineficiencia en el uso de los recursos del sector ha cobrado importancia. Una mayor eficiencia podría, por un lado, mejorar las condiciones de vida de los productores y, por otro, aumentar los niveles de productividad del sector.

Un análisis de eficiencia del sector agropecuario en Colombia debe considerar que las unidades de producción, en este caso los hogares, adelantan su actividad en distintos sistemas que no necesariamente se pueden evaluar bajo una misma frontera de producción. En efecto, en el país la actividad agropecuaria se realiza en diversas zonas que varían por las características de los suelos, la geografía, el clima, la disponibilidad de agua y las condiciones sociales. Estas diferencias definen tecnologías de producción peculiares que pueden tener efectos importantes en la productividad y la eficiencia de la producción agropecuaria, debido a los requerimientos de insumos de capital y mano de obra y a las condiciones ambientales diversas que pueden enfrentar los hogares, incluyendo condiciones de violencia, como la presencia de grupos armados.

Teniendo en cuenta que la literatura sobre eficiencia del sector agropecuario en Colombia es limitada y se concentra en el análisis de productos específicos en algunas regiones del país, como el café (Perdomo y Hueth, 2010; Perdomo y Mendieta, 2007), la piña (Trujillo e Iglesias, 2013) y la ganadería de doble propósito (Gamarra, 2004), el objetivo de este documento es avanzar en el estudio de la eficiencia del sector agropecuario considerando la presencia de diferentes sistemas productivos. Para ello, se utiliza la información del módulo rural de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) del 2011, que provee información agropecuaria y de los gastos en insumos de los hogares que reportaron tener fincas destinados a la actividad agrícola o pecuaria. La unidad bajo análisis es el hogar, considerando que un hogar puede combinar la producción de diversos cultivos con bienes pecuarios, desde distintas fincas. En particular, el estudio evalúa la eficiencia técnica, definida como la habilidad que tienen los hogares de obtener el máximo producto, dados unos insumos y una tecnología fija asociada a diferentes sistemas de producción.

El análisis se concentra en los pequeños productores y toma como referencia los hogares con valor de producción agropecuaria menor o igual a $8 millones del 2011, que representan el 81% de los hogares de la muestra; aunque las clasificaciones tradicionales se realizan con base en el tamaño de los predios y la metodología de unidad agrícola familiar (UAF), la muestra definida por valor de la producción anual se puede asociar a pequeños productores, los cuales representan un porcentaje importante de la población rural del país[1]. De acuerdo con Perfetti *et al.* (2013) el segmento de los pequeños productores es de gran importancia en Colombia por el peso que tienen en la generación de empleo rural

[1] Entre las clasificaciones por tamaño de los predios se destacan la del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAG), que los clasifica en microfundio (menor o igual a 3 ha), minifundio (entre 3 y 10 ha), pequeño (entre 10 y 20 ha) mediano (entre 20 y 200 ha) y grande (más de 200 ha); y la del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que los clasifica en pequeños (menos de 50 ha), medianos (entre 50 y 500 ha) y grandes (más de 500 ha). La clasificación del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, Incoder (Acuerdo 202 del 29 de diciembre de 2009) utiliza el concepto de unidad agrícola familiar (UAF), que se define como el número de hectáreas necesarias para satisfacer un ingreso promedio mensual esperado. De acuerdo con estas clasificaciones, alrededor del 95% de los hogares con valor de la producción menor o igual a $8 millones se puede clasificar como pequeño productor.

y en la producción agrícola nacional; en particular, los pequeños productores representan el 72% de los 2,9 millones de trabajadores vinculados a la agricultura y aportan entre el 50% y el 68% de la producción agropecuaria nacional[2].

El análisis empírico se lleva a cabo utilizando técnicas de metafrontera estocástica, las cuales permiten comparar la eficiencia técnica de los hogares con producción agropecuaria al interior de cada sistema y entre sistemas productivos en relación con el sector agropecuario como un todo. Aunque el concepto de metafrontera y su relación con la función de metaproducción datan de Hayami y Ruttan (1971), la aplicación para medir la eficiencia técnica fue introducida por Battese y Rao (2002). Recientemente, Huang, Huang y Liu (2014) desarrollaron una aproximación para estimar la metafrontera utilizando análisis estocástico, que es el utilizado en este documento. La evaluación de la eficiencia del sector con esta metodología brinda elementos destinados a definir medidas de política en dos frentes: en primer lugar, para mejorar el desempeño de los hogares con relación a las fronteras específicas del sistema productivo donde se encuentran localizados y, en segundo lugar, para diseñar programas que permitan reducir la brecha tecnológica entre las fronteras específicas y la metafrontera, los cuales pueden involucrar cambios en las tecnologías utilizadas por los diferentes sistemas (O'Donnell, Rao y Battese, 2008).

En términos generales, los resultados indican que las medidas de eficiencia derivadas de las fronteras específicas de cada sistema productivo alcanzan en promedio 56%, la eficiencia con respecto a la metafrontera del sector 46%, y la brecha tecnológica, que mide la distancia entre las fronteras específicas y la metafrontera, 82%. Por sistemas productivos se encuentra que los hogares localizados en alturas inferiores a 600 m s. n. m. están más cerca de la mejor tecnología de disponible en el sector. Por otro lado, los hogares ubicados en municipios con alturas superiores a 1.900 m s. n. m. registran en promedio la eficiencia técnica más alta con respecto a la frontera específica de su sistema, pero tienden a estar más lejos de la producción potencial definida por la metafrontera. Cuando los resultados se analizan por valor de la producción se aprecia que los hogares con más altos niveles de producción registran en promedio las medidas de eficiencia más altas, con un coeficiente de correlación positivo entre las dos variables de 0,72.

Este capítulo se divide en seis secciones: la primera contiene una breve revisión de la literatura sobre eficiencia agropecuaria a nivel internacional y nacional; la segunda presenta la metodología de metafrontera estocástica utilizada en las estimaciones; la tercera hace una descripción de los sistemas productivos que se consideran en el análisis empírico; la cuarta describe los datos utilizados en el análisis; la quinta presenta y discute los resultados de las estimaciones, y la sexta sección expone las principales conclusiones.

[2] El autor define como pequeños productores aquellos que desarrollan su actividad productiva en predios inferiores a dos UAF y emplean principalmente mano de obra familiar. La UAF se define como la empresa básica de producción agrícola, pecuaria, acuícola o forestal cuya extensión, conforme a las condiciones agroecológicas de la zona y con tecnología adecuada, permite a la familias remunerar su trabajo y disponer de un excedente capitalizable que coadyuve a la formación de su patrimonio (Acuerdo 202 de 2009, artículo 1º).

1. Revisión de la literatura

La literatura sobre eficiencia del sector agropecuario es amplia y en su mayoría se concentra en evaluar la producción por fincas para diferentes productos agrícolas y pecuarios, como arroz, hortalizas, algodón y producción de lácteos. Los estudios han utilizado técnicas paramétricas y no paramétricas para evaluar la eficiencia técnica y la de costos. Es frecuente el uso de variables exógenas para explicar la ineficiencia encontrada, mientras que predomina el análisis de la producción expresada en valores monetarios más que en cantidades.

Entre las técnicas paramétricas más utilizadas se encuentra el análisis de frontera estocástica (SFA, por su sigla en inglés), empleada por Rezitis, Tsiboukas y Tsoukalas (2002), Salim y Hossain (2006), Bravo-Ureta y Pinheiro (1997) y Ajibefun, Daramola y Falusi (2006) para evaluar la eficiencia de fincas en Grecia, Bangladesh, República Dominicana y Nigeria, respectivamente. Bravo-Ureta y Pinheiro (1997) y Ajibefun *et al.* (2006) encontraron incidencia de variables exógenas como la educación y la experiencia de los granjeros en eficiencia. Miljkovic, Miranda y Shaik (2013) también hicieron análisis de frontera estocástica para evaluar veintisiete estados agrícolas de Brasil, donde el capital fue el insumo más importante. Similar resultado hallaron Kompas y Nhu Che (2006) para 252 granjas lecheras de Australia. Por su parte, Kumbhakar, Biswas y Bailey (1989) y Michler y Shiveli (2015) coincidieron en que la eficiencia está directamente relacionada con el tamaño del predio.

Esta última conclusión es confirmada por Latruffe *et al.* (2004) y Paul *et al.* (2004) en el caso de las fincas de Polonia y Estados Unidos, respectivamente. Además, los primeros autores encuentran que las granjas con vocación pecuaria son más eficientes que las de vocación agrícola. En cambio, Brümmer (2001) sostiene que las granjas con mayor diversificación son más eficientes en el caso esloveno. Dichos estudios corroboraron sus resultados con los obtenidos mediante el análisis envolvente de datos (DEA, por su sigla en inglés). En el estudio de Latruffe *et al.* (2004) ambas metodologías conducen a resultados similares, mientras que Brümmer (2001) encuentra diferencias significativas en los intervalos de eficiencia. En esta misma línea metodológica, Adhikari y Bjorndal (2012) detectaron alto grado de ineficiencia en la agricultura nepalés.

El DEA es la técnica no paramétrica más utilizada para medir la eficiencia agropecuaria. Con esta metodología Ahmed, Zander y Garnett (2011), Chavas y Aliber (1993), Chavas, Petrie y Roth (2005) y Fletschner, Guirkinger y Boucher (2010) demuestran que el acceso al capital es un factor importante en el desempeño de fincas de Bangladesh, Estados Unidos, Gambia y Perú, en su orden. Asimismo, Amores y Contreras (2009) utilizaron DEA para evaluar la eficiencia de granjas con cultivos de oliva en España; y Lansink, Pietola y Bäckman (2002) para analizar granjas orgánicas y convencionales de Finlandia. Por su parte, Skevas, Lansink y Stefanou (2012), Atici y Podinovski (2015) y Kuo, Chen y Tsou (2014) complementaron dicha técnica con aplicaciones conocidas como *bootstrap approach*, *trade-ooff approach* y *undesirable outputs*, respectivamente.

En el caso colombiano, la literatura sobre eficiencia del sector agropecuario por medio de análisis de frontera es reciente y relativamente limitada. Se destacan los trabajos de Gonzáles y López (2003; 2007), quienes utilizaron una base de datos de 55 municipios, realizada por el Departamento Nacional de Planeación con el apoyo del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y del Banco Mundial. El estudio más reciente evaluó 822 hogares con predios empleando técnicas de SFA, mientras que otro

analizó 925 predios mediante la técnica DEA. En ambos casos la violencia resultó ser una variable exógena significativa, y el rango de eficiencia más bajo fue el obtenido con DEA. Perdomo y Hueth (2010) y Perdomo y Mendieta (2007) evaluaron la eficiencia de 999 fincas cafeteras en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, con información primaria de la encuesta cafetera aplicada por la Facultad de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad de Maryland y por la Facultad de Economía de la Universidad de los Andes, utilizando técnicas de SFA y DEA, respectivamente.

Estos estudios coincidieron en identificar que gran parte de los pequeños y medianos caficultores son ineficientes, al paso que los grandes obtienen medidas de eficiencia más altas. Por último, Trujillo e Iglesias (2013) examinaron la producción de 194 agricultores de piña en Santander utilizando SFA y encontraron una eficiencia media de 76%, donde la superficie, la educación y la experiencia fueron las variables más significativas. Por otro lado, Gamarra (2004) utiliza la metodología DEA para estimar la eficiencia técnica en una muestra de 71 fincas ganaderas de doble propósito en la costa Caribe y encuentra que los departamentos con mayor grado de especialización en dicha actividad fueron los más eficientes.

Al analizar el desempeño de unidades productivas como fincas o firmas pertenecientes a grupos con diversas tecnologías es necesario estudiar cada grupo de forma independiente y establecer una frontera común (metafrontera). La metafrontera está basada en la idea de que todas las unidades productivas tienen acceso potencial a una misma tecnología. Por medio de técnicas de programación lineal Battese, Rao y O'Donnell (2004) estimaron una metafrontera para 1.958 empresas textiles de Indonesia y O'Donnell *et al.* (2008) analizaron el sector agropecuario de 97 países.

Estos últimos datos sirvieron para que Rao, O'Donnel y Battese (2003) diseñaran varias metafronteras con la ayuda de técnicas paramétricas y no paramétricas. Posteriormente, Huang *et al.* (2014) estimaron una metafrontera con estos datos a fin de evaluar el sector agropecuario mundial, y otra, con 622 observaciones, para analizar el sector hotelero de Taiwán. Huang *et al.* (2014) utilizaron el método de frontera estocástica al estimar la metafrontera, lo que les permitió separar los choques aleatorios de las brechas tecnológicas, lo cual es una ventaja frente a las técnicas de programación lineal. Dichos autores restringen las inconsistencias de Rao *et al.* (2003) en cuanto al proceso de generación de datos. En el ámbito agropecuario, Jiang y Sharp (2015) estimaron una metafrontera para 1.294 granjas lecheras de Nueva Zelandia utilizando técnicas de programación lineal y determinaron la tecnología de producción potencial para su industria láctea.

2. Metodología

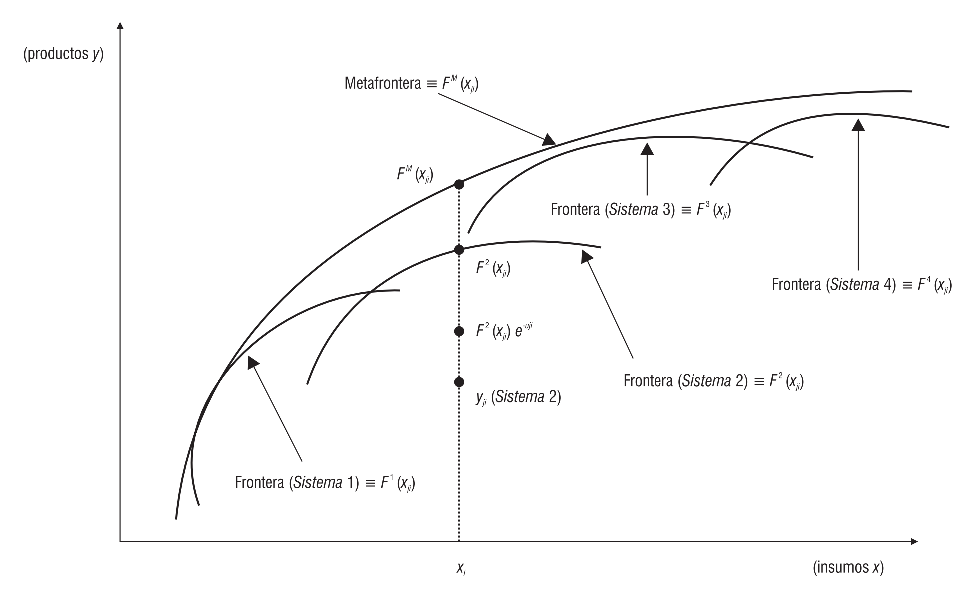
Como se mencionó en la introducción, la eficiencia técnica de fincas agropecuarias que operan con tecnologías diferentes no son comparables bajo una misma frontera de producción, teniendo en cuenta, como lo afirman O'Donnell *et al.* (2008), que técnicamente las unidades de producción hacen escogencias entre conjuntos de combinaciones de insumo-producto. En el caso particular del sector agropecuario, estos conjuntos pueden variar por las condiciones geográficas, de clima y de suelo, que definen los sistemas productivos. Algunos autores han tratado estas diferencias utilizando diversas fronteras de producción para cada uno de los grupos; sin embargo, la desventaja de utilizar este

método es que no se pueden comparar los resultados de la eficiencia entre grupos y entre estos y el sector como un todo.

Para estimar la eficiencia técnica en presencia de grupos con diferentes características de tecnología, Battese y Rao (2002) introdujeron el concepto de metafrontera, que permite estimar empíricamente, bajo una misma frontera, las medidas de eficiencia de unidades productivas asociadas a grupos con características de tecnología diferentes, las cuales pueden ser comparables entre sí. Este método fue revisado posteriormente por Battese *et al.* (2004) y O'Donnell *et al.* (2008). De acuerdo con la metodología propuesta por estos autores, las medidas de eficiencia relativa a la metafrontera se pueden descomponer en dos componentes: uno que mide la distancia entre la relación insumo-producto de la unidad de producción con respecto a la frontera del sistema productivo al que pertenece y otro que mide la distancia entre la frontera de cada sistema y la metafrontera (Gráfico 1).

Las propuestas metodológicas de Battesse *et al.* (2004) y O'Donnell *et al.* (2008) utilizan un procedimiento de dos etapas: en la primera utilizan técnicas de frontera estocástica para estimar las fronteras específicas de cada grupo y en la segunda emplean DEA al estimar la metafrontera del sector o de la industria. Huang *et al.* (2014) proponen una nueva aproximación para estimar la eficiencia técnica de unidades de producción de grupos con tecnologías diversas. La principal diferencia con las propuestas anteriores es la aplicación de técnicas de frontera estocástica en la segunda etapa para estimar la metafrontera, lo cual garantiza las propiedades estadísticas del análisis de frontera estocástica; además, esta metodología estima las brechas tecnológicas directamente y tiene la ventaja de que permite identificar las fuentes de variación entre los grupos de análisis.

Gráfico 1
Modelo de función de la metafrontera para diferentes sistemas productivos



Fuente: elaboración de los autores con base en Battesse et al. (2004) y Huang et al. (2014).

Dadas las ventajas de la metafrontera estocástica y las particularidades del sector agropecuario del país, la estimación de la eficiencia técnica para la producción del sector se realiza mediante la metodología propuesta por Huang *et al.* (2014); de acuerdo con ella, la eficiencia técnica de las unidades de producción en cada uno de los sistemas productivos se deriva a partir de estimar una frontera de producción que sigue la aproximación de Battese y Coelli (1995), la cual considera que el término de ineficiencia *U* es una función de las variables ambientales, que no están bajo el control de las unidades de producción, pero, afectan su desempeño, así:

$$Y_{ji} = f^{j}(X_{ji})\, e^{V_{ji}-U_{ji}}, \text{ donde } U_{ij} \sim N\,[\delta_0 + \textstyle\sum_{j,i=1}^{M} \delta_{ji} Z_{ji}\, \sigma^2]$$
$$j = 1, 2, ..., J;\; i = 1, 2, ..., N_j \qquad (1)$$

Donde Y_{ji} denota el producto y X_{ji} es el vector de insumos de la unidad de producción *ith*, en el grupo *jth*; V_{ji}, como en el análisis de frontera estocástica tradicional, es una variable aleatoria normalmente distribuida con media cero que el ruido estocástico con la idea de que las desviaciones de la frontera no están totalmente bajo el control de las unidades de producción; U_{ji} representa la ineficiencia técnica; δ_u y δ_{ji} son parámetros que deben ser estimados[3]. Se asume que V_{ji} es independiente de U_{ji}, que sigue una distribución normal truncada. Así, la eficiencia técnica derivada del modelo para cada unidad de producción se asocia con un conjunto de *M* variables ambientales, Z_{ji}, específicas a cada unidad de cada grupo, que se define como:

$$ET^{j}_{i} = \frac{Y_{ji}}{f^{j}(X_{ji})\, e^{V_{ji}}} = e^{-U_{ji}} \qquad (2)$$

La metafrontera de la función de producción común para todos los grupos se define como $f^{M}(X_{ji})$, la cual envuelve las fronteras individuales específicas de cada grupo: $f^{j}(X_{ji})$, y se expresa con la siguiente relación:

$$f^{j}(X_{ji}) = f^{M}(X_{ji})\, e^{-U^{M}_{ji}}, \forall j, i \qquad (3)$$

Donde $U^{M}_{ji} \geq 0$. Por lo tanto, $f^{M}(.) \geq f^{j}(.)$ y la relación entre la frontera de producción del grupo *jth* a la metafrontera se define como la razón de la brecha de tecnología (RBT):

$$RBT^{j}_{i} = \frac{f^{j}(X_{ji})}{f^{M}(X_{ji})} = e^{-U^{M}_{ji}} \leq 1 \qquad (4)$$

[3] Para más detalles de la aproximación de Battese y Coelli (1995) véanse Coelli, Perelman y Romano (1999), y Melo y Espinosa (2005).

El Gráfico 1 muestra que la combinación insumo-producto de la unidad de producción *ith*, en el grupo *jth* con respecto a la metafrontera, $f^M(X_{ji})$ tiene tres componentes: la razón de la brecha tecnológica, $RBT_i^j = \frac{f^j(X_{ji})}{f^M(X_{ji})}$, la eficiencia técnica de cada unidad de producción, $ET_i^j = \frac{Y_{ji}}{f^j(X_{ji})\, e^{V_{ji}}} = e^{-U_{ji}}$ y el componente aleatorio, $\frac{Y_{ji}}{f^j(X_{ji})\, e^{-U_{ji}}} = e^{V_{ji}}$,

por lo que: $$\frac{Y_{ji}}{f^M(X_{ji})} = RBT_i^j \times ET_i^j \times e^{V_{ji}} \qquad (5)$$

Si se tiene en cuenta que a partir de la estimación de la frontera estocástica se obtiene un componente aleatorio, la eficiencia técnica de cada unidad de producción, con respecto a la metafrontera (ETM), se puede expresar como:

$$ETM_{ji} = \frac{Y_{ji}}{f^M(X_{ji})\, e^{V_{ji}}} = RBT_i^j \times ET_i^j \qquad (6)$$

De esta forma, en el método propuesto por Huang *et al.* (2014) la estimación empírica de la metafrontera considera la estimación del error de las fronteras estimadas para cada grupo: $\hat{f}^j(X_{ji})$ todo $j = 1, 2, \ldots, J$, así:

$$ln\hat{f}^j(X_{ji}) - lnf^j(X_{ji}) = e_{ji} - \hat{e}_{ji} \qquad (7)$$

Si definimos el error estimado como $V_{ji}^M = e_{ji} - \hat{e}_{ji}$, la relación de la metafrontera se puede reescribir como:

$$ln\hat{f}^j(X_{ji}) = lnf^M(X_{ji}) - U_{ji}^M + V_{ji}^M,\ \forall i, j = 1, 2, ..., J \qquad (8)$$

Esta regresión se asemeja a una frontera estocástica tradicional que llamaremos MFS, en la cual el componente de la brecha tecnológica, $U_{ji}^M \geq 0$, se distribuye como una función normal truncada e independiente de V_{ji}^M. La forma $\mu^M(Z_{ji})$ de la normal truncada es una función de las variables Z_{ji} para los diferentes grupos siguiendo la ya explicada aproximación de Battese y Coelli (1995). Así, la propuesta de Huang *et al.* (2014) para la estimación de la metafrontera se puede resumir en la estimación de dos regresiones de frontera estocástica, así:

$$lnY_{ji} = lnf^j(X_{ji}) + V_{ji} - U_{ji},\ i = 1,2, ..., N_j\ ; \qquad (9)$$

$$ln\hat{f}^j(X_{ji}) = lnf^M(X_{ji}) + V_{ji}^M - U_{ji}^M \qquad (10)$$

donde $ln\hat{f}^{j}(X_{ji})$ corresponde a las estimaciones de la frontera para cada grupo, las cuales deben ser estimadas *J* veces. Las estimaciones $ln\hat{f}^{j}(X_{ji})$ de los distintos sistemas de producción se agrupan para estimar la metafrontera (ecuación 10). A fin de asegurar que la metafrontera sea igual o mayor que las fronteras específicas para los diferentes grupos $lnf^{j}(X_{ji}) \leq lnf^{M}(X_{ji})$, el RBT estimado debe ser siempre menor o igual a 1:

$$\widehat{RBT_i^j} = \hat{E}\left(e^{-U_{ji}} \mid \hat{\varepsilon}_{ji}^{M}\right) \leq 1 \qquad (11)$$

Donde $\hat{\varepsilon}_{ji}^{M} = ln\hat{f}^{j}(X_{ji}) - ln\hat{f}^{M}(X_{ji})$ corresponde a los errores compuestos de la ecuación 10. Adicionalmente, la brecha tecnológica es una función de las variables Z_{ji} a través de $\mu^{M}(Z_{ji})$ y la varianza heterocedástica de $\sigma_{u}^{M2}(Z_{ji})$. Finalmente, la eficiencia técnica con respecto a la metafrontera (ETM) es igual al producto de la razón de brecha de tecnología (RBT) y la eficiencia técnica estimada para cada unidad de producción.

$$\widehat{ETM_i^j} = \widehat{RBT_i^j} \times \widehat{ET_i^j} \qquad (12)$$

3. Sistemas productivos del sector agropecuario

Colombia cuenta con una gran diversidad de tipos de suelo, geología, morfología, clima y características de relieve que hacen que la vocación y el uso de los suelos sean heterogéneos. Estas características determinan tecnologías de producción diferentes que definen sistemas productivos no necesariamente comparables bajo una misma frontera de producción, teniendo en cuenta que las necesidades de insumos y la tecnología requerida en el sector agropecuario puede variar entre ellos; así, hogares ubicados en distintos sistemas pueden enfrentar condiciones ambientales y de tecnología distintas.

Algunas zonas del país tienen ventajas en la producción de ciertos cultivos y bienes pecuarios por diferencias en los requerimientos de insumos para producir bienes similares, que pueden verse reflejadas en mayores niveles de rentabilidad y menores costos de producción. Sin embargo, estas ventajas no son siempre aprovechadas; en efecto, de acuerdo con un estudio sobre conflictos de uso del suelo, coordinado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en el país muchas tierras con vocación agropecuaria se encuentran actualmente utilizadas inadecuadamente, mientras que tierras con aptitud prioritaria para el uso forestal o agroforestal están siendo utilizadas en actividades agrícolas que son fuente principal de la producción de alimentos de la canasta básica (IGAC, 2012)[4]. Estos conflictos en el uso de la tierra, hacen que la actividad agrícola y pecuaria del país no siempre se localice en las tierras con mejor capacidad para el desarrollo de esas actividades, con consecuencias directas sobre el medio ambiente, la calidad de la tierra y los ingresos del sector agropecuario del país.

[4] La agricultura utiliza el 24% de los 22 millones de hectáreas con vocación de uso agrícola, y de los 34,9 millones de hectáreas utilizadas en la ganadería el 56% tiene una vocación distinta a su uso (Junguito *et al*., 2014).

El conflicto entre el uso y la vocación real del suelo propicia la subutilización de áreas con aptitud agroecológica para la producción, debido al monopolio sobre la tierra[5] (Cano, 2013; Vergara, 2010; Junguito *et al.* 2014). En particular, Perfetti *et al.* (2013) señalan que 70% de los predios (propiedades pequeñas con menos de 5 ha) poseen 6% de la tierra, mientras que el 1% de los predios (propiedades grandes con más de 200 ha) concentran el 43% de ella.

Perfetti *et al.* (2013) señalan que de los 114 millones de hectáreas de suelo que tiene Colombia, 13,1% se encuentra subutilizado como consecuencia de la ganadería extensiva, actividad que sobrepasa en 19,7 millones de hectáreas su vocación de uso; la actividad pecuaria predomina sobre la agrícola en todas las regiones del país (Vergara, 2010), sin embargo esta superioridad es menor en los predios pequeños. En línea con el DANE y Minagricultura (2015), las unidades de producción agropecuaria (UPA) con menos de 5 ha destinaron el 38,6% del suelo para fines agrícolas y el 54,8% para uso pecuario; a su vez, las UPA con más de 500 ha emplearon solo una quinta parte con fines agrícolas y el resto para uso pecuario y bosques naturales.

Dadas las diferencias en la vocación y el uso de los suelos existentes en el país, el análisis de eficiencia del sector agropecuario tiene en cuenta que los hogares producen en diversos sistemas productivos. Para esto, el país se divide en zonas a partir de las características de los suelos, la geografía y el clima donde se encuentran ubicadas las fincas de los hogares de la muestra estudiada. Con este fin se revisaron varias clasificaciones del uso y vocación de los suelos realizados por entidades como el IGAC y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), que consideran variables del suelo, relieve y clima de las zonas geográficas del país. Es importante anotar que algunas clasificaciones están disponibles por zonas geográficas, las cuales no necesariamente están vinculadas a un municipio o región en particular.

De acuerdo con los objetivos del estudio y la disponibilidad de información de la muestra de hogares, la identificación de los sistemas productivos se realizó utilizando como referencia la clasificación de conglomerados productivos agropecuarios realizada por el IGAC. Esta clasificación tiene la ventaja de que relaciona los municipios del país con características propias de la producción agropecuaria, lo cual nos permite ubicar los predios de los hogares en un grupo específico a partir de la información del código municipal. La clasificación del IGAC zonificó el país por asociación de municipios con características similares en fisiografía y conglomerados productivos, e incluye los conglomerados productivos de café, arroz, papa, banano y plátano de exportación, cacao, caña de azúcar, y de la ganadería[6].

Al utilizar como referencia la información sobre los conglomerados definidos por el IGAC, la muestra de los hogares con producción agropecuaria se clasificó en sistemas

[5] Un tema que va más allá del alcance de esta investigación es el de las señales del mercado bajo las cuales los propietarios toman decisiones, lo que puede afectar la eficiencia del sector. En particular, el conflicto entre el uso y la vocación real de este es resultado de la estructura agraria, es decir, de los incentivos que genera el monopolio sobre la tierra. De acuerdo con Cano (2013) y Vergara (2010), en Colombia predomina el propósito rentístico y especulativo de la tierra, por lo cual no hay incentivos para darle un uso adecuado.
[6] Para una descripción detallada de los conglomerados productivos véase IGAC (2012).

productivos mediante análisis clúster y tomando como referencia la información de pisos térmicos asociada al municipio de localización del hogar y a cada uno de los conglomerados productivos. De acuerdo con los resultados del análisis, la muestra se dividió en cuatro grupos, que definen los sistemas productivos de la siguiente forma:

- *Sistema productivo 1.* Considera las fincas de los hogares localizadas en municipios con alturas entre 0 y 600 m. s. n. m. (23,6% de la muestra). Según información de la muestra, en este grupo predominan los cultivos de arroz, maíz, yuca, plátano hartón, mango y café. También se registra ganado vacuno y producción de leche.
- *Sistema productivo 2.* Considera las fincas de los hogares localizadas en municipios con alturas entre 601 y 1.200 m. s. n. m. (8,6% de la muestra). En este grupo se registran cultivos de café, plátano hartón, cacao en grano, caña panelera, tabaco en rama y maíz; producción de leche; ganado vacuno y aves.
- *Sistema productivo 3.* Considera las fincas de los hogares localizadas en municipios con alturas entre 1.201 y 1.900 m. s. n. m. (28,1% de la muestra). En este sistema predomina el café; en menor proporción, los cultivos de plátano hartón, caña panelera, frijol, maní y yuca. Asimismo se registra producción de leche; ganado vacuno, aves y cerdos.
- *Sistema productivo 4.* Considera las fincas de los hogares localizadas en municipios con alturas superiores a 1.900 m. s. n. m. (39,7% de la muestra). En este sistema predomina el cultivo de la papa; en menor proporción, café, maíz, arveja, cebolla (cabezona y rama), trigo, tomate, fríjol, mora; producción de leche; ganado vacuno, aves, cerdos y huevos.

4. Datos

El análisis empírico utiliza la información del módulo rural de la ECV 2011, que provee datos de producción agrícola y pecuaria a nivel de finca y de gastos en insumos por parte de los hogares que reportaron tener producción agropecuaria. De acuerdo con la encuesta, los cultivos que predominan son el café, el cual se produce en 711 hogares, el maíz en 561, la papa en 296, el arroz en 122 y los de hortalizas en 448[7]. Por otro lado, 611 hogares tienen producción pecuaria, que se concentra en la producción de leche y en aves, huevos, ganado vacuno y cerdos.

Es importante anotar que un hogar puede tener varias fincas y estas destinarse a diferentes cultivos agrícolas y productos pecuarios[8]. Aunque predominan aquellas en las que se cultiva un solo producto, también es común encontrar cultivos asociados en una sola; por ejemplo, se encontró que las fincas que producen café además cultivan maíz, yuca,

[7] Las hortalizas incluyen cultivos de mijo, quinua, brócoli, coliflor, lechuga, espinaca, acelga, cilantro, apio, pepino cohombro, pepino guiso, berenjenas, tomates, calabaza, repollo, pimentón, ahuyama, fríjoles, arveja, habichuela, zanahoria, cebolla cabezona y de rama, ajos y remolacha.

[8] De acuerdo con información de la encuesta el 83% de los hogares adelanta su producción en una sola finca, el 13% en dos y el 4% en tres o más.

fríjol y caña de azúcar; las que producen yuca, también cultivan maíz, arroz, fríjol, cacao y caña de azúcar; las que producen papa, asimismo cultivan maíz, arveja y hortalizas. Muchas fincas combinan igualmente los cultivos agrícolas con productos pecuarios; por ejemplo, 130 de las fincas que producen café explotan algún tipo de producción pecuaria, lo mismo sucede con 149 de las que producen maíz y 118 de las que producen papa.

Dada la gran diversidad de combinaciones de productos que un hogar puede tener en distintas fincas, y que las decisiones sobre compra de insumos se realizan a nivel de hogar, esta es la unidad de producción objeto de análisis[9]. Si se considera la heterogeneidad existente en las unidades de producción de los bienes agrícolas y pecuarios de la muestra y la información sobre los cultivos y la producción pecuaria de los hogares, la producción se valorizó en pesos del año 2011, año de realización de la encuesta; es importante anotar que este valor registra gran varianza, lo que podría indicar la presencia de diversas tecnologías de producción, debido a diferencias en los requerimientos de capital físico, humano y financiero, que deberían analizarse bajo fronteras de producción particulares.

Por esta razón, el análisis empírico se concentra en los hogares de pequeña producción, tomando como referencia aquellos con producción agregada igual o inferior a $8 millones, los cuales representan el 81% de la muestra total de los hogares con producción agropecuaria. Como se mencionó en la introducción, aunque las clasificaciones tradicionales sobre tamaño de los productores agropecuarios se realizan utilizando el tamaño de los predios y la metodología de la UAF, esta muestra por valor de la producción se puede asociar a pequeños productores.

Con respecto a los insumos, la encuesta suministra información de los costos monetarios asociados a la producción, tanto pecuaria como agrícola, asumidos por el hogar durante los últimos doce meses. En particular, la encuesta indaga sobre pago de arriendos y de trabajadores; compra de semillas y fertilizantes, así como de animales para cría; alimentos y empaques; gastos en transporte; intereses por créditos; asistencia técnica; alquiler y reparación de maquinaria, y sobre otros gastos asociados con la explotación agropecuaria. Es importante anotar que no todos los hogares registran información de todos los rubros de insumos, por lo cual en el ejercicio se incluye la información total valorizada en pesos, lo que es consistente con la información de producción y evita el perderse información de los hogares que tienen gastos solo en algunos rubros, si se incluyeran los insumos de forma independiente[10]. Como insumo también se incluye el área total de las fincas que tienen producción agropecuaria, medida en hectáreas.

En la muestra final se excluyeron los hogares que, aunque reportaron tener fincas, estos no tenían producción agrícola ni pecuaria, al igual que aquellos que, pese a contar con producción agropecuaria, no reportaron ningún costo monetario asociado a la producción. Además, se revisaron algunas inconsistencias en la información de la encuesta[11].

[9] Después de agrupar la producción por hogar se encontró que el 50% de los hogares se dedica a un solo producto, el 28% a dos, el 12% a tres y el 10% restante a cuatro productos o más.

[10] Por ejemplo, cerca de la mitad de los hogares no reportaron costos de mano de obra, lo cual puede obedecer a que muchos hogares no contabilizan este rubro en los costos de insumos.

[11] En la encuesta se encontró que varios hogares respondieron con el valor total de la producción a la pregunta sobre el valor de la producción por unidad de medida. Para corregir esta inconsistencia se utilizó como referencia la información de precios de la red de información y comunicación del sector agropecuario, Agronet Colombia.

Después de realizar estos ajustes, el número total de hogares bajo análisis es de 1.565, de los cuales 67% tiene producción agrícola exclusiva, 11% solo pecuaria y 22% combina la agrícola y la pecuaria.

Como se mencionó en la sección de metodología, el ejercicio empírico considera en la estimación de las fronteras específicas de los sistemas productivos y de la metafrontera del sector, el efecto de diferentes variables de entorno, *Zji*. En la primera etapa de la estimación estas variables contribuyen a explicar la eficiencia técnica de los hogares con respecto a la frontera de producción de cada sistema. Aprovechando la información de la ECV sobre los módulos de personas, en este grupo de variables se incluyen características del jefe del hogar como el género (*Género_m*) y el nivel educativo más alto alcanzado (*Educación*). Otras variables incluidas son la presencia de fuentes de agua en la finca (*Fuentes_agua*), la cantidad de productos agrícolas y pecuarios que produce el hogar (*Q_productos*) y los porcentajes de productos destinados a ventas (*Pr_ventas*) y al autoconsumo (*Pr_autoconsumo*)[12].

Por otro lado, teniendo en cuenta que muchas zonas del país son afectadas por diferentes formas de violencia que pueden tener gran repercusión sobre la producción agropecuaria y en consecuencia sobre su eficiencia, se incluyó una variable dicótoma que toma el valor de 1 si en el municipio donde está ubicado el hogar hay presencia de grupos armados al margen de la ley, incluyendo la presencia del Ejército de Liberación Nacional (ELN), las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) y las Autodefensas Unidas de Colombia (AUC) (*D_violencia*). También se incluyó una variable dicótoma para controlar por la presencia y la fumigación de cultivos de coca en los municipios (*D_cultivos_coca*). La información de las variables municipales proviene del panel municipal del Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) de la Universidad de los Andes[13].

Las variables ambientales de los sistemas productivos incluidas para estimar la segunda etapa de la metafrontera, que contribuyen a explicar la relación de la brecha tecnológica de cada grupo, incluyen variables dicótomas que identifican la región geográfica donde está localizado el hogar, un indicador de erosión de la tierra (*Erosión*) teniendo en cuenta que un porcentaje importante de las tierras del país enfrentan este problema[14]. Por último, con el fin de evaluar el efecto de la cercanía de los mercados, se incluyó el logaritmo de la distancia

[12] Es importante anotar que la literatura tradicional sobre fronteras estocásticas considera dos formas para tratar las variables que no son insumos directos pero que influyen en la producción y eficiencia de las unidades en análisis: la primera asume que estas variables afectan la forma de la tecnología y por lo tanto se incluyen directamente como regresores en la función de producción; la segunda asume que estas variables afectan la eficiencia técnica y por lo tanto se modelan como una función de eficiencia, en esta medida la interpretación de los resultados de la eficiencia es diferente bajo las dos alternativas. Como se explicó en la sección de metodología, la estimación de las dos etapas de la metafrontera estocástica requiere utilizar la segunda alternativa, que es la aplicada en este documento.

[13] La presencia de grupos armados a nivel municipal fue calculada por el CEDE a partir de la información obtenida de la Policía Nacional, el Departamento Administrativo de Seguridad y el Departamento Nacional de Planeación, mientras que la información sobre cultivos de coca proviene del Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (Simci) de Naciones Unidas.

[14] De acuerdo con un estudio del IGAC (2012), 35% del total de las tierras del país se encuentran afectadas por problemas de erosión; en particular, 4.300.000 ha están erosionadas en forma severa y muy severa, y 12.916.000 ha en grado moderado.

lineal del municipio donde está ubicado el hogar al municipio donde se encuentra el principal mercado mayorista de alimentos (*Dist_mercado*).

El Cuadro 1 presenta la media y la desviación estándar de las distintas variables para la muestra final de hogares utilizadas en las fronteras específicas de los sistemas de producción y en la metafrontera. De esta información se puede destacar que el sistema 2, el cual incluye fincas ubicadas en municipios con alturas entre 601 y 1.200 m. s. n. m., tiene en promedio los valores de producción y de insumos más altos, aunque es importante señalar que en todos los sistemas existe una gran dispersión en estas variables. Por otro lado, en el sistema 4 se registran en promedio las fincas más grandes, aunque la dispersión en el tamaño es también mayor en este sistema. En cuanto a las características del jefe del hogar se observa, en todos los grupos, que el 78% o más es de sexo masculino y que el promedio del nivel de educación más alto alcanzado no supera los 3,5 años. Vale la pena destacar que, de acuerdo con la distribución de la variable, el 89% de los jefes de hogar de la muestra alcanzaron quinto de primaria como máximo nivel de educación.

Cuadro 1
Estadísticas descriptivas

Variable	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3		Sistema 4	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Valor producción (millones de pesos)	2.108.080	2.030.248	2.757.706	2.169.329	2.279.092	1.968.317	2.037.227	1.927.523
Insumos totales (millones de pesos)	550.876	906.678	839.503	1.122.837	673.991	1.003.929	633.285	832.203
Área total de las fincas (ha)	9,52	21,88	7,75	13,14	6,53	57,53	27,56	379,37
Variables ambientales primera etapa								
Género_m	0,8672	0,3398	0,8370	0,3707	0,8701	0,3365	0,7877	0,4092
Educación	3,2791	3,1330	3,3134	2,3791	3,4874	2,6943	3,4646	2,4166
Fuentes_agua	0,6097	0,4884	0,6666	0,4731	0,6173	0,4865	0,5980	0,4906
Q_productos	1,8428	1,0643	1,9259	1,2849	2,1253	1,3849	1,8408	1,0984
Pr_ventas	0,6567	0,3804	0,8332	0,2907	0,8013	0,3052	0,7614	0,3233
Pr_autoconsumo	0,3853	0,3745	0,2040	0,3278	0,3413	0,3775	0,3195	0,3562
D_violencia	0,3441	0,4757	0,6222	0,4866	0,6309	0,4830	0,2668	0,4426
D_cultivos_coca	0,1544	0,3618	0,0962	0,2960	0,0523	0,2230	0,0546	0,4426
Variables ambientales segunda etapa								
D_Caribe	0,6205	0,4858						
D_Oriental	0,1029	0,3043	0,3481	0,4781	0,2209	0,4153	0,4549	0,4983
D_Central	0,0731	0,2607	0,1777	0,3837	0,1343	0,3414	0,0562	0,2306
D_Pacífica	0,2032	0,4029	0,2814	0,4513	0,6378	0,4811	0,8870	0,5002
D_Valle			0,1925	0,3958	0,0068	0,0824		
Erosión	1,5150	0,9944	2,9165	1,0692	2,1392	1,1672	1,6353	0,9683
Dist_mercado	202,05	102,420	91,18	71,95	129,19	66,74	171,95	79,59

Fuente: cálculos de los autores con base en información de la ECV y el panel municipal del CEDE.

Con respecto al destino de la producción, sobresale que los hogares de los sistemas 2 y 3 son los que en promedio destinan más porcentaje de su producción a las ventas, superan en los dos casos el 80%. Además, se observa que los sistemas más afectados por la presencia de grupos al margen de la ley son el 2 y el 3; alrededor del 60% de los hogares están ubicados en municipios donde hay presencia de grupos armados. También se puede destacar que los hogares que se encuentran más distantes de un mercado mayorista son los del sistema 1 y los más cercanos son los de sistema 2. Finalmente, todos los hogares de la región Caribe están localizados en el sistema 1, los del Valle del Cauca en los sistemas 2 y 3, y los hogares de las regiones Oriental, Central y Pacífica se distribuyen en los cuatro sistemas de producción.

5. Resultados

Como se explicó en la sección de metodología, la estimación de la metafrontera se realiza en dos etapas: en la primera se estiman las fronteras específicas de los diferentes grupos (ecuación 9) y en la segunda se estima la metafrontera del sector a partir de los estimadores, $ln\hat{f}^{j}\,(X_{ji})$ obtenidos de los *J* sistemas productivos (ecuación 10).

5.1 Resultados por sistemas productivos

La estimación de las *Jth* fronteras estocásticas específicas a cada sistema productivo se realiza utilizando la aproximación de Battese y Coelli (1995), en la cual las variables ambientales afectan el término de eficiencia. Con el fin de examinar si los cuatro sistemas productivos tienen efectivamente tecnologías diferentes se aplicó una prueba de razón de verosimilitud. Si la producción agropecuaria de los hogares presentara tecnologías similares que pudieran ser determinadas en una única frontera de producción, no sería necesario calcular los niveles de eficiencia en relación con la metafrontera de producción. La prueba se aplica para la hipótesis nula de que las fronteras de producción de los cuatro sistemas productivos son las mismas para todos los hogares en el país. La hipótesis se evalúa después de estimar la frontera estocástica incluyendo los hogares de todos los sistemas productivos[15]. El valor del estadístico de la razón de verosimilitud es de 102, significativo al tener en cuenta los grados de libertad de la distribución chi cuadrado de la diferencia entre el número de parámetros estimados bajo H_1 y H_0 (*gl.* = 55), sugiriendo que las fronteras estocásticas de los cuatro sistemas productivos para los hogares con producción agropecuaria no son las mismas y deben ser estimadas en forma independiente.

[15] Siguiendo a Battese *et al.* (2004), el estadístico de la razón de verosimilitud se define como $= -2\left\{ln\left[\frac{L(H_0)}{L(H_1)}\right]\right\} = -2\ \{ln[L(H_0)] - ln[L(H_1)]\}$, donde $ln[L(H_0)]$ es el valor de la función *log likelihood* para la frontera estimada agrupando los hogares de todos los sistemas y $ln[L(H_1)]$ es la suma de los valores de las funciones *log likelihood* de las fronteras de producción específicas a cada uno de los cuatro sistemas.

Por otro lado, la prueba de la razón de verosimilitud, que compara la estimación del modelo mediante una función *translog* con el modelo que utiliza una función Cobb-Douglas (H_0: $\beta_{ji} = 0$), solo se rechaza para el sistema 2 (Anexo A). No obstante, la estimación de las fronteras específicas de los distintos grupos se lleva a cabo con la función *translog*, ya que la metodología propuesta por Huang *et al.* (2014) requiere que las funciones de producción de los diversos sistemas utilicen la misma función. De esta forma, la estimación de las fronteras de los sistemas productivos para el caso de K insumos y M variables ambientales de cada unidad de producción se específica como:

$$lnY_{ji} = \alpha_0 + \sum_{\kappa=1}^{K} \alpha_k \, lnX_{kji} + 0.5 \sum_{\kappa=1}^{K} \sum_{n \geq k}^{K} \beta_{kn} \, lnX_{kji} \, lnX_{nji} + V_{ji} + U_{ji}$$
$$U_{mji} \sim N\left[\delta_0 + \sum_{m=1}^{M} \delta_m \, Z_{mji} \, \sigma^2\right] \qquad (13)$$

Donde Y_{ji} denota el valor de la producción del hogar *ith* en cada uno de los *jth* sistemas de producción; X_{kji} es el vector de insumos, que incluye el valor de estos y el área total de las fincas; Z_{ji} es el vector de variables ambientales e incluye características de los jefes del hogar, variables de las fincas y municipios donde está ubicado el hogar, explicadas en la sesión anterior; V_{ji} representa el ruido estocástico aleatorio y U_{ji} la ineficiencia técnica.

Los parámetros estimados para los sistemas productivos y las desviaciones estándar se presentan en el Cuadro 2. Los coeficientes de primer orden del total de insumos y del tamaño de las fincas, los cuales corresponden a las elasticidades parciales promedio teniendo en cuenta que las variables fueron normalizadas con respecto a su media, sugieren que un aumento en los insumos, incluyendo la tierra, se ve reflejado en mayores niveles de producción. En efecto, los resultados indican que existe una relación positiva y significativa entre los insumos utilizados y el valor de la producción agropecuaria en los cuatro sistemas productivos; sin embargo, la suma de los coeficientes de primer orden, que es inferior a la unidad, indica que la estructura de producción estaría operando con rendimientos decrecientes a escala, resultado que puede estar asociado al manejo de fertilizantes e insecticidas y al uso intensivo de la tierra. Sobre este tema Perfetti *et al*. (2013) señalan que la limitación de tierra que tienen los pequeños productores puede llevar al uso intensivo de la misma y a generar menores ingresos per cápita.

Cuadro 2
Parámetros estimados de las fronteras de producción por sistemas productivos

Parámetros	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3		Sistema 4	
	Coeficiente	Error estándar	Coeficiente	Error estándar	Coeficiente	Error estándar	Coeficiente	Error estándar
Constante	0,8280***	0,2597	1,0464***	0,0925	0,7521***	0,2393	0,5412***	0,1809
lnX_1	0,4481***	0,0361	0,3923***	0,0413	0,3993***	0,0314	0,5086***	0,0265
lnX_2	0,0851***	0,0266	0,0583	0,0369	0,1120***	0,0281	0,0474**	0,0206
$lnX_1 \times lnX_1$	-0,0138	0,0363	-0,0554	0,0401	-0,0268	0,0319	0,0482*	0,0259
$lnX_2 \times lnX_2$	0,0146	0,0101	-0,0018	0,0101	0,0261*	0,0136	0,0070	0,0073
$lnX_1 \times lnX_2$	-0,2173	0,0189	-0,0804***	0,0240	-0,0263	0,0185	-0,0199	0,0128
Variables ambientales								
Constante	1,5934***	0,4236	1,0504	0,7033	1,4905***	0,3496	1,3860***	0,2306
Género_m	-0,2137	0,2098	-0,4679	0,3250	-0,0967	0,1884	-0,1748	0,1115
Educación	-0,0201	0,0243	-0,0599	0,0534	0,0435*	0,0247	0,0295	0,0190
Fuentes_agua	-0,1154	0,1538	-0,7524**	0,3044	-0,4247**	0,1970	-0,2872**	0,1216
Q_productos	-0,4270**	0,1685	-0,2490*	0,1440	-0,2628***	0,0894	-0,2903***	0,0882
Pr_ventas	-0,3220	0,2924	0,0964	0,4932	-0,9542***	0,2534	-0,5278***	0,1539
Pr_ autoconsumo	0,7635**	0,3238	1,4304***	0,5558	0,8107***	0,3039	0,6301***	0,1845
D_violencia	-0,1567	0,1614	0,6781**	0,3341	-0,0471	0,1628	-0,0899	0,1132
D_cultivos_ coca	0,1026	0,2021	0,5508	0,3888	0,9922***	0,2780	-0,2124	0,2522
σ_u^2	0,4258***	0,1859	0,8197***	0,2594	0,4412***	0,2091	0,1531**	0,0802
σ_v^2	0,3809***	0,1093	0,0452**	0,0221	0,3098***	0,1116	0,4263***	0,0557
γ	0,5278***	0,1369	0,9476***	0,0303	0,5874***	0,1926	0,2642***	0,1217
Log likelihood	-435,61***		-123,65***		-479,85***		-678,40***	

*** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.
Fuente: cálculos de los autores.

Con respecto a las variables ambientales, se puede destacar que el género y la educación del jefe del hogar no son significativos en ninguno de los sistemas de producción, lo cual es consistente con la alta participación de jefes del sexo masculino (alrededor de 80%), y el máximo nivel de educación alcanzado, que en promedio es inferior a 3,5 años. Las variables ambientales restantes tienen los signos esperados en los distintos sistemas[16]. En particular, la presencia de fuentes de agua en la finca, la cantidad de productos que genera el hogar y el porcentaje dedicado a las ventas tienen un efecto positivo y significativo sobre la producción y la eficiencia de los hogares, mientras que el porcentaje dedicado al autoconsumo tiene un efecto negativo.

La presencia de grupos al margen de la ley en el municipio donde está localizada la finca afecta de forma negativa y significativa la producción y la eficiencia de los hogares localizados en el sistema 2, mientras que la presencia y la fumigación de cultivos de coca

[16] De acuerdo con la aproximación de Battese y Coelli (1995), en las estimaciones de la ecuación 13 un coeficiente negativo implica que la variable tiene efecto positivo sobre la eficiencia técnica.

afecta en forma negativa y significativa a los hogares localizados en el sistema 3. Es importante señalar que en el sistema 2 el 62% de los hogares están localizados en municipios con presencia de grupos armados y en el sistema 3 el 5% de los hogares están ubicados en municipios con cultivos de coca. En general, la violencia y la presencia de cultivos ilícitos, como lo sostienen Cano *et al.* (2012), "crean entornos persistentes y sistemáticos de incertidumbre social, política y económica que generan escenarios desfavorables para la producción agropecuaria".

El Cuadro 2 también presenta el parámetro gamma (γ), que corresponde a la participación estimada del término de ineficiencia en la varianza del error compuesto, que es significativo en todos los casos. Por su parte, las varianzas de los componentes del término de error, σ_u^2 y σ_v^2, sugieren que en los sistemas 1, 2 y 3 un porcentaje importante de su varianza se debe a factores que pueden ser controlados por los hogares; en efecto, en estos sistemas la varianza del término de error es explicada por la ineficiencia en 53%, 95% y 59%, respectivamente.

A partir de la estimación de las funciones estocásticas de cada sistema productivo se calcularon las medidas de ineficiencia técnica de los hogares. En el Cuadro 3 se presentan los promedios y las desviaciones estándar de las medidas de eficiencia por sistema de producción, valor, vocación (agrícola, pecuaria y mixta) y principal producto de producción del hogar. Los resultados indican que el sistema 4 tiene en promedio la mayor eficiencia técnica (61%), seguida del sistema 3 (55%) y de los sistemas 1 y 2 (alrededor de 50%). Vale la pena señalar que las medidas de eficiencia presentan una gran dispersión de los hogares en los sistemas productivos; en efecto las desviaciones estándar varían entre 17% en el sistema 4 y 25% en el sistema 2, y los valores de eficiencia varían entre un mínimo de 5% y un máximo de 99%. La distribución de frecuencias de las medidas de eficiencia que se presentan en el Gráfico 2 confirma la variabilidad de la eficiencia técnica en los hogares por sistemas.

Cuadro 3
Eficiencia técnica de las fronteras de los sistemas de producción

(pesos)	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3		Sistema 4	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Por sistema	0,5084	0,1806	0,4895	0,2552	0,5512	0,1875	0,6109	0,1702
Por valor de la producción								
Mayor de 6.000.000	0,7204	0,0739	0,7962	0,0696	0,7454	0,0692	0,7646	0,0649
Entre 2.000.001 y 6.000.001	0,6297	0,0985	0,6302	0,166	0,6725	0,0873	0,7169	0,0937
Menor de 2.000.0000	0,4191	0,1631	0,2891	0,1872	0,4458	0,178	0,5398	0,1691
Por vocación de la producción								
Exclusivamente agrícola	0,4988	0,1773	0,4806	0,2639	0,5343	0,1965	0,5812	0,1763
Exclusivamente pecuaria	0,4377	0,1863	0,4782	0,2507	0,5899	0,1814	0,589	0,1395
Agrícola y pecuaria	0,6134	0,1478	0,5296	0,2251	0,5904	0,1506	0,6889	0,1414

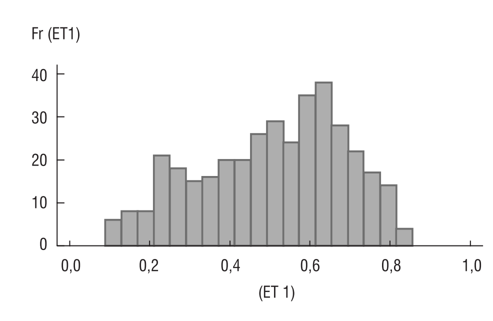
Cuadro 3 (continuación)
Eficiencia técnica de las fronteras de los sistemas de producción

(pesos)	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3		Sistema 4	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Por principal producto del hogar								
Aves	0,2285	0,0896	0,4719	0,2775	0,4636	0,2205	0,3568	0,1085
Café	0,5562	0,1234	0,5241	0,2535	0,5793	0,1678	0,6498	0,1528
Ganado vacuno	0,5259	0,1221	0,3734	0,3757	0,62	0,1514	0,6929	0,1154
Leche	0,5245	0,1879	0,5088	0,2315	0,6187	0,155	0,6027	0,1429
Maíz	0,4878	0,1695	0,2764	0,248	0,3244	0,2667	0,4936	0,2092
Papa					0,4122	0,2258	0,6073	0,1782
Plátano hartón	0,5404	0,2039	0,5292	0,2726	0,4542	0,2114	0,6613	0,1584
Yuca	0,4818	0,1896	0,7137	0,0288	0,556	0,1995	0,6364	0,2276

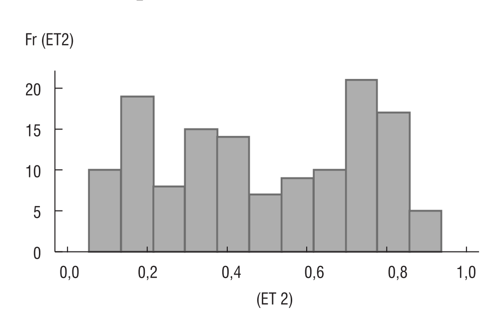
Fuente: cálculos de los autores.

Gráfico 2
Distribución de frecuencias de la eficiencia técnica (ET) por sistema productivo

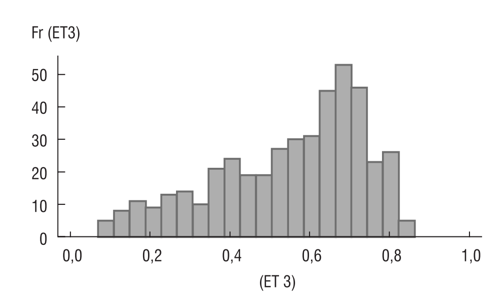
A. Sistema productivo 1



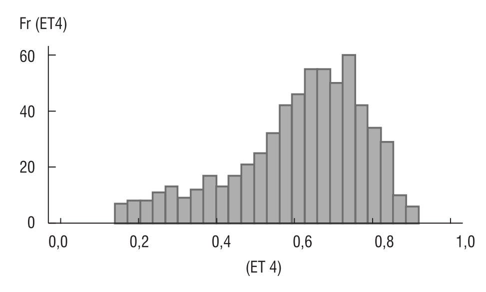
B. Sistema productivo 2



C. Sistema productivo 3



D. Sistema productivo 4



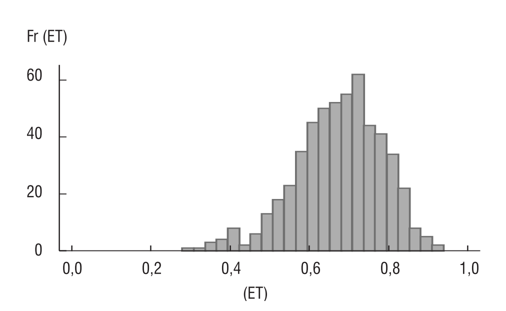
Fuente: cálculos de los autores.

Al ordenar las medidas de eficiencia por valor de la producción los resultados indican que, para todos los sistemas, los hogares con mayor producción presentan una eficiencia técnica más alta y menor dispersión en los datos (Gráfico 3)[17]; en efecto, en los hogares que tienen producción superior a $6 millones la eficiencia técnica varía entre 72% (sistema 1) y 80% (sistema 2) y la dispersión es alrededor de 7% para los diferentes sistemas. En los hogares que tienen un valor de producción mayor a $2 millones y menor a $6 millones la eficiencia técnica promedio varía entre 63% (sistema 1) y 72% (sistema 4) y la desviación estándar entre 9% y 16%. Por su parte, los hogares con valor de la producción menor a $2 millones presentan la eficiencia más baja, la cual varía entre 29% (sistema 2) y 53% (sistema 4) y las mayores desviaciones estándar fluctúan entre 16% y 19% (Cuadro 3).

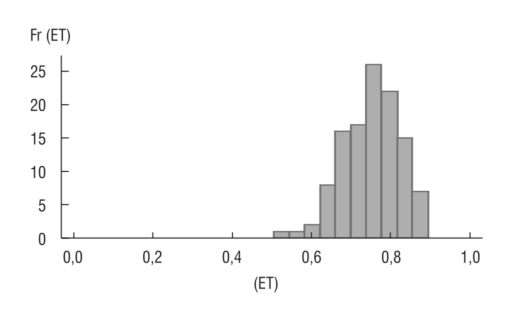
Gráfico 3
Distribución de frecuencias de la eficiencia técnica (ET) por tamaño de la producción

A. Menor de $2.000.000

B. Entre $2.000.000 y $6.000.000



C. Mayor de $6.000.000



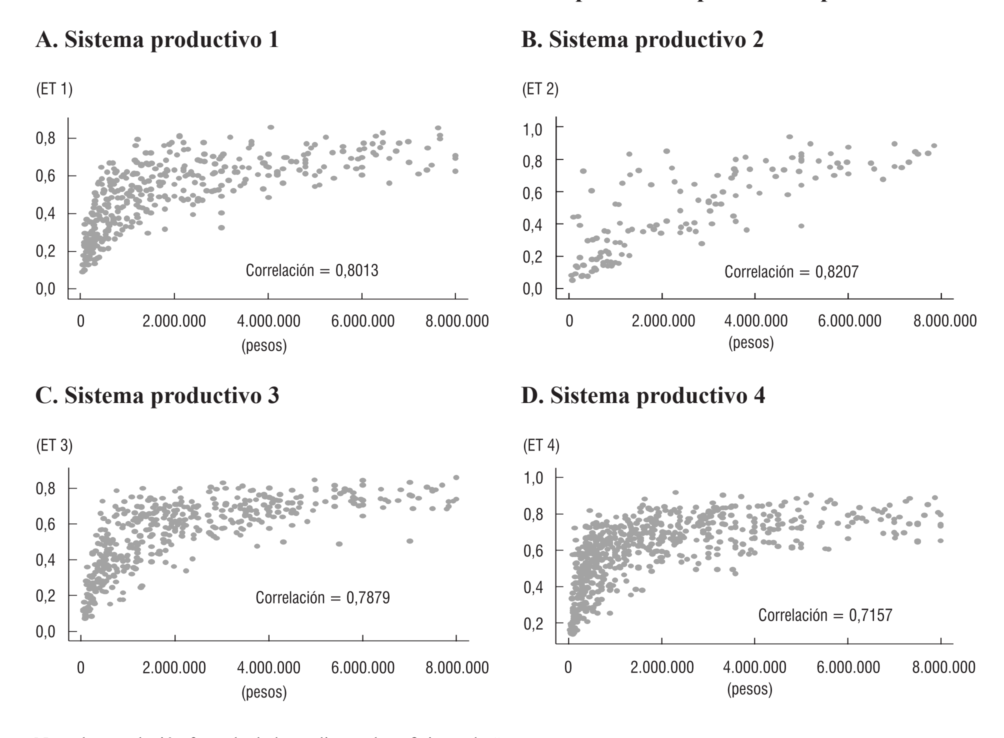
Fuente: cálculos de los autores.

A pesar de que el análisis se concentra en los hogares con valor de la producción inferior a $8 millones, las diferencias en las medidas de eficiencia sugieren que los hogares con mayor producto tienen ventajas en la escala de producción y en esta medida obtienen

[17] En el Anexo B se presenta la distribución de frecuencias de la eficiencia técnica por sistema productivo y tamaño de la producción.

mejores resultados en términos del aprovechamiento de los insumos[18]. Estos resultados son comunes en todos los sistemas. De hecho, como se observa en el Gráfico 4, a medida que aumenta el valor de la producción las medidas de eficiencia tienden a 1 en todos los sistemas. La correlación entre las dos variables es de 0,72. Para el sistema 1 la correlación es de 0,80; para el sistema 2, de 0,82; para el sistema 3, de 0,78; para el sistema 4, de 0,71.

Gráfico 4
Correlación de la eficiencia técnica con el valor de la producción por sistema productivo



Nota: la correlación fue calculada mediante el coeficiente de Spearman.
Fuente: cálculos de los autores.

Debe destacarse que los hogares del sistema 2, con el menor valor de la producción, registran en promedio la menor eficiencia técnica de todos los sistemas (29%, frente a 43% de los sistema 1 y 3, y 54% del sistema 4), lo cual podría ser explicado por el efecto negativo y significativo que la variable de violencia tiene sobre la producción de los predios ubicados en ese sistema productivo.

Vale la pena señalar que otros estudios también han encontrado una relación directa entre el valor de la producción (o tamaño de las fincas) y la eficiencia. Por ejemplo,

[18] Es importante anotar que no necesariamente un mayor tamaño de los predios se refleja en mayores valores de producción.

Kumbhakar *et al.* (1989) encontraron para las fincas lecheras de Utah, que las de mayor producción son las más eficientes; Morrison, Nehring y Banker (2004) hallaron en un estudio para las fincas de maíz en Estados Unidos (periodo 1996-2001), que las agrícolas pequeñas son ineficientes en escala y técnicamente; Adhikari y Bjorndal (2012) hicieron lo propio en Nepal, donde las fincas de menor tamaño son las más ineficientes. En Colombia, Perdomo y Hueth (2010) y Perdomo y Mendieta (2007) refieren que los pequeños y medianos productores de café son más ineficientes cuando se comparan con los grandes.

Los resultados en términos de la baja eficiencia técnica obtenida por los hogares de menor producción son relevantes para el desarrollo agropecuario del país, al tener en cuenta que un porcentaje significativo de la producción agropecuaria nacional es realizada por pequeños productores; según Perfetti *et al.* (2013), el segmento de los pequeños productores (microfundio y pequeña propiedad) es de gran importancia por el peso que tienen en la generación de empleo rural y la producción agrícola colombiana. En esta medida, las políticas orientadas a mejorar las condiciones del pequeño productor y de sus familias son prioritarias, considerándose que aumentos en la eficiencia de este grupo tendría efectos no solo en la productividad del sector, sino en el mejoramiento de las condiciones de bienestar de un grupo importante de la población, más aún si se toman en cuenta los altos niveles de pobreza y violencia que enfrentan los pequeños productores, ya que, de acuerdo con Machado y Botello (2014), este grupo tiene altos niveles de pobreza, padece restricciones al crédito y trabaja en la informalidad.

Por vocación de la producción, en todos los sistemas la mayor eficiencia y menor desviación estándar se observa en los hogares que combinan producción agrícola y pecuaria. Este resultado, junto con la significancia estadística de la cantidad de productos que genera un hogar, resalta la importancia de la diversificación para la eficiencia de los pequeños productores del sector, lo cual es consistente con los resultados obtenidos por Brümmer (2001) para Eslovenia. Por otro lado, en promedio las medidas de eficiencia para los hogares que se dedican exclusivamente a bienes agrícolas o productos pecuarios son similares en todos los sistemas productivos, las cuales son más altas en los sistemas 3 y 4, en los que la eficiencia técnica alcanza 59% (Cuadro 3)[19].

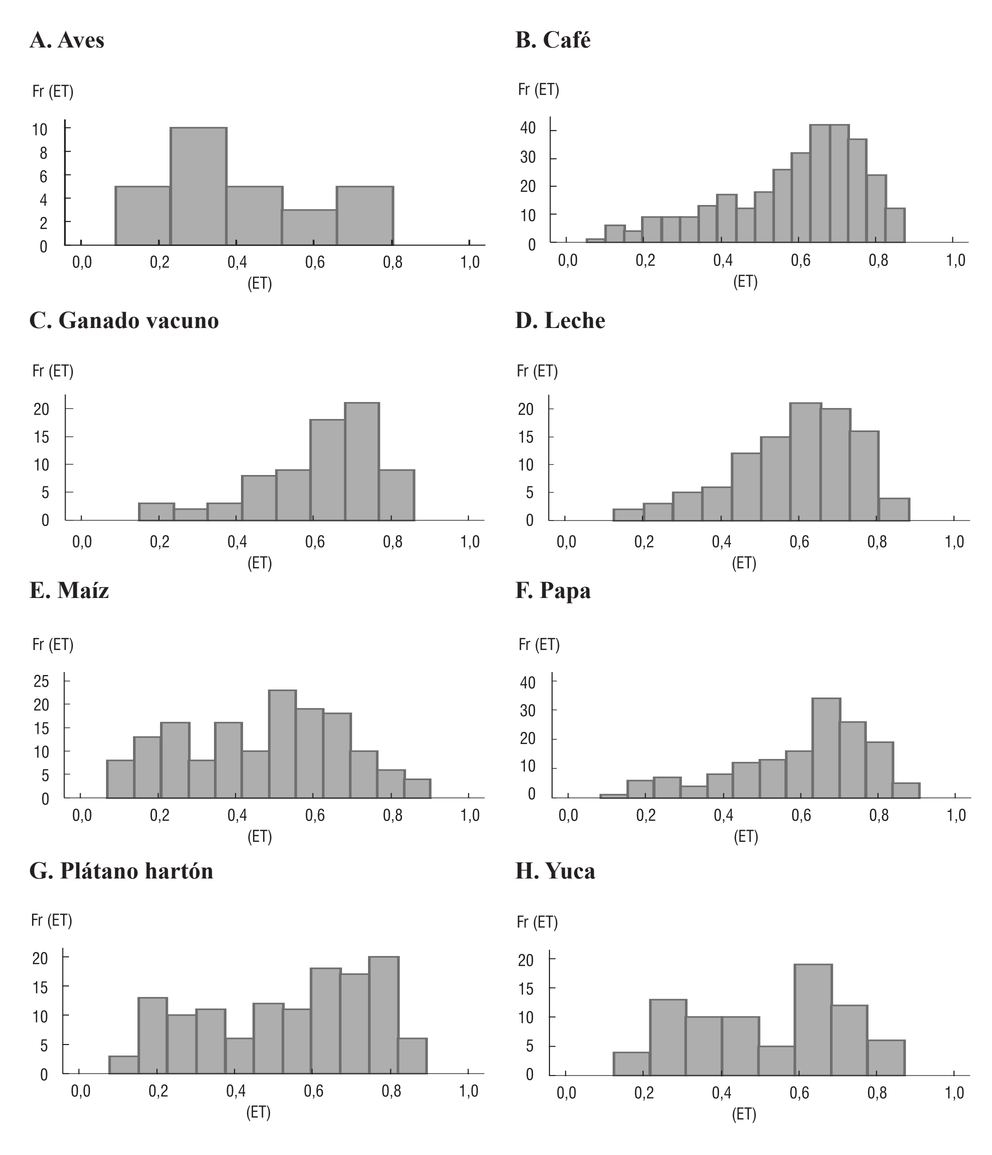
El Gráfico 5 muestra la distribución de frecuencias para los principales productos de los hogares, tanto pecuarios como agrícolas. En él se observa que existe gran variabilidad en las medidas de eficiencia técnica de todos los productos; no obstante, se destacan algunas diferencias por sistema productivo en la eficiencia técnica para algunos cultivos y productos pecuarios (Cuadro 3). Por ejemplo, se aprecia que el cultivo del café se da en los cuatro sistemas productivos, con medidas de eficiencia promedio superiores a 52%.

La presencia de cultivos de café en los diferentes pisos térmicos puede obedecer a la introducción de nuevas variedades, pero también, como lo explican Cano *et al.* (2012), se puede explicar por la estrategia de sustituir cultivos ilícitos a fin de recuperar zonas en conflicto; como lo afirman estos autores, con el apoyo de la Federación de Cafeteros, regiones con problemas de orden público (ejemplo: los departamentos del Meta y Caquetá en el piedemonte, y el Magdalena en la Sierra Nevada), han aumentado la producción de café. Aunque en promedio las medidas de eficiencia técnica de los hogares que producen café es

[19] Estos resultados se mantienen cuando las medidas se agrupan por sistemas (véase Anexo C).

de 59%, con una desviación estándar de 19, se destaca que los hogares del sistema 4 tienen una medida de eficiencia más alta (65%), lo cual indica que el rendimiento de los insumos es mayor en alturas superiores a 1.900 m s. n. m. Este resultado podría explicarse por mayor eficiencia en el control de plagas, el manejo de los suelos, el sombrío y la disponibilidad de agua, características importantes en la producción del café (Bustillo, 2006; Moreno, 2007).

Gráfico 5
Distribución de frecuencias de la eficiencia técnica (ET) por principal producto



Fuente: cálculos de los autores.

Otro resultado interesante se observa en la producción de maíz, el cual también se cultiva en los cuatro sistemas de producción, pero se concentra en hogares localizados en los sistemas 1 (46%) y 4 (42%), donde se obtienen las medidas de eficiencia técnica más altas, 49%[20]. La producción de papa, por su parte, se concentra en el sistema 4 (96% de los hogares) y registra en promedio una eficiencia técnica de 61%. Cultivos de plátano hartón y yuca se registran en todos los sistemas, pero el plátano es más eficiente en el sistema 4 y la yuca en el 2. En cuanto a la producción de bienes pecuarios, se observa que la producción de aves, aunque se da en todos los sistemas, es más eficiente en los sistemas 2 y 3 (alturas entre 600 y 1.900 m s. n. m.), y la de leche y ganado vacuno registra mayores niveles de eficiencia en los sistemas 3 y 4 (alturas superiores a 1.200 m s. n. m.).

5.2 Resultados de la metafrontera y la brecha tecnológica

Para estimar la metafrontera del sector se utilizan los estimadores $ln\hat{f}^{j}\,(X_{ji})$ obtenidos de la estimación de los *J* sistemas productivos y la aproximación de Battese y Coelli (1995). Como variables ambientales se emplean la región geográfica donde está ubicado el hogar, la distancia del municipio de localización de la finca al mercado mayorista más cercano y el índice de erosión. La prueba de la razón de verosimilitud para definir la forma funcional del modelo apoya el uso de la función *translog* frente a la Cobb-Douglas (Anexo A).

El Cuadro 4 muestra los coeficientes y desviaciones estándar estimados para la metafrontera; tanto los coeficientes de primer orden del total de insumos y del tamaño de las fincas, como los términos cruzados, son significativos y tienen los signos esperados. En cuanto a las variables ambientales, se observa que los hogares localizados en la región Caribe y el Valle del Cauca operan en promedio con una tecnología superior respecto a los de la región Central, que es la utilizada como referencia; se sugieren ventajas en las condiciones geográficas, de clima y de suelos de los hogares ubicados en esas regiones. El coeficiente positivo de la distancia al municipio con mercado mayorista indica que a mayor distancia, más apartada está la frontera de producción específica con respecto a la metafrontera del sector[21].

[20] El maíz crece desde el nivel del mar hasta alturas de más de 3.000 m s. n. m. "Su cultivo se realiza en condiciones extremas desde el punto de vista de la precipitación, como en La Guajira, que tiene un régimen de lluvias pobre, o el departamento del Chocó, que tiene uno de los índices de precipitación más elevados del planeta" (Ruiz de Londoño y Pinstrup-Andersen, 1975, p. 15).

[21] Es importante recordar que, por la forma funcional utilizada, los coeficientes positivos tienen efecto negativo sobre la metafrontera de producción.

Cuadro 4
Parámetros estimados de la metafrontera

Parámetros	Coeficiente	Error estándar
Constante	0,9218***	0,0016
lnX_1	0,4532***	0,0008
lnX_2	0,0752***	0,0006
$lnX_1 \times lnX_1$	-0,0092***	0,0008
$lnX_2 \times lnX_2$	0,0162***	0,0003
$lnX_1 \times lnX_2$	-0,0236***	0,0005
Variables ambientales		
Constante	-0,0446	0,0453
D_Caribe	-3,9108***	0,814
D_Oriental	0,0558***	0,0199
D_Pacífica	0,0035	0,0206
D_Valle	-0,1098**	0,0091
Erosión	-1,54E-06	0,0046
Dist_mercado	0,0490***	0,0091
σ_u^2	0,0266***	0,0016
σ_v^2	0,0002***	0
γ	0,9893***	0,0012
Log likelihood	1.361,56***	

*** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.
Fuente: cálculos de los autores.

Las estadísticas de los valores de razón de la brecha tecnológica (RBT) que corresponde a la distancia de la frontera de producción específica del sistema *jth* a la metafrontera; la eficiencia técnica (ETM) que mide la distancia del hogar *ith* a la metafrontera, y las medidas de eficiencia (ET) derivadas de las fronteras de producción de los diferentes sistemas, se presentan en el Cuadro 5, para el total del sector y para cada sistema de producción. Las medidas también se presentan por valor de la producción, por vocación del hogar y por región geográfica[22]. Los resultados muestran que las medidas de eficiencia técnica derivadas de las fronteras específicas alcanzan en promedio 56%, la eficiencia técnica con respecto a la metafrontera 46% y la RBT 82%.

Estos resultados sugieren, por una parte, que si los hogares operaran o se acercaran a los niveles de operación de los más eficientes de sus respectivos sistemas de producción, se podrían obtener importantes ganancias en términos de eficiencia técnica. Dichos beneficios podrían expresarse en menor utilización de insumos y/o mayores valores de producción, con efectos positivos en la productividad del sector y la calidad de vida de los hogares. Por su parte, los resultados de las medidas de eficiencia con respecto a la

[22] En el Anexo D se presentan los gráficos de la distribución de frecuencias de la eficiencia técnica por región geográfica.

metafrontera y los de la brecha tecnológica indican que hay un margen importante para mejorar el desempeño del sector como un todo[23].

Por sistemas de producción, los resultados indican que los hogares del sistema 4, ubicados en municipios con alturas mayores a 1.900 m s. n. m., registran en promedio la mayor eficiencia técnica con respecto a su frontera específica de producción y obtienen en promedio la RBT más baja, lo cual denota una mayor brecha entre la mejor tecnología disponible en el sector y la frontera del sistema específico de producción. En particular, el máximo producto que es posible obtener con la tecnología del sistema 4 es, en promedio, solo el 71% del potencial de la tecnología disponible en el sector; por el contrario, los hogares del sistema 1, localizados en municipios con alturas menores a 600 m s. n. m., son los que en promedio están más cerca de la mejor tecnología de producción disponible en el sector agropecuario (RBT = 98%).

Estos resultados que los hogares del sistema 1 podrían tener ventaja en la tecnología de producción frente a los hogares del sistema 4, la cual puede estar asociada a características geográficas y de infraestructura que determinan distintas necesidades de insumos; por ejemplo, la producción en tierras bajas y planas requiere insumos de maquinaria y equipo diferentes a la de tierras más altas y con geografía quebrada. Sobre este tema Galvis (2001) encuentra que las diferencias en la productividad agrícola regional del país son explicadas, principalmente, por la dotación de recursos naturales y de clima. Aunque estos factores podrían representar una limitación para la producción agropecuaria en algunos sistemas productivos del país, el autor destaca la importancia de emprender estrategias a fin de superar los efectos adversos de condiciones geográficas no favorables. Para esto, como se mencionó, se requieren políticas que fomenten la investigación y el cambio técnico teniendo en cuenta las características particulares de los distintos sistemas productivos.

Como se explicó, los hogares con más altos valores de producción registran en promedio, en todos los sistemas, las mayores medidas de eficiencia técnica y la menor dispersión entre ellas. Estos resultados se mantienen cuando se evalúan las medidas de eficiencia con respecto a la metafrontera y las RBT. Así, los hogares con valor de la producción más alta también tienden a estar más cerca de la producción potencial definida por la metafrontera del sector. Es importante señalar que mientras la ordenación de los sistemas de producción utilizando las RBT está dominada por los resultados de la ETM, la ordenación por valor de la producción depende de variaciones tanto de las medidas de la eficiencia con respecto a las fronteras específicas (ET) como a la metafrontera (ETM).

Por vocación se encuentra que los hogares con producción agrícola y pecuaria exclusiva registran en promedio medidas más altas de eficiencia con relación a las fronteras específicas y a la metafrontera del sector, pero registran la RBT más baja. Por su parte, los hogares dedicados exclusivamente a la actividad agrícola son más eficientes cuando se comparan con la metafrontera del sector; en particular, la producción de estos hogares está cerca del 83% del producto que es posible obtener usando los mismos niveles de insumos y la tecnología disponible en el país.

[23] Junguito *et al.* (2014) presentan un análisis detallado de las políticas para promover el desarrollo del sector, las cuales incluyen incentivar la investigación y el cambio técnico, mejorar la infraestructura vial, construir centros de riego y de acopio, promover y apoyar al pequeño productor.

Estos resultados sugieren que, aunque la producción conjunta de bienes agrícolas y/o pecuarios tiene ventaja cuando se evalúan al interior de los diferentes sistemas productivos, si se analiza la tecnología de producción con respecto a la metafrontera son más eficientes los hogares que se dedican exclusivamente a los cultivos agrícolas. Sobre este tema Rivera y Nieto (2002), en una investigación que compara la producción asociada de café y granadilla con la de monocultivos de café, encuentran que el cultivo asociado se ajusta más a sistemas campesinos de producción, mientras que los monocultivos se ajustan a productores comerciales que buscan optimizar el uso del capital.

Finalmente, cuando las medidas de eficiencia técnica se agrupan por región geográfica se observa una gran dispersión de los datos respecto a las fronteras específicas, con medidas promedio de 46%, mientras que la medida de RBT tecnológica se ubica alrededor de 85% (Cuadro 5 y Anexo D). Es importante señalar que los hogares localizados en la región Caribe y en el Valle del Cauca, al registrar las más altas medidas de RBT (99% y 88%, respectivamente), están más cerca de la mejor tecnología de producción disponible en el sector agropecuario, lo que sugiere ventajas en las condiciones geográficas, de clima y suelos frente al resto de las regiones del país. Por su lado, los hogares localizados en las regiones Oriental y Pacífica registran en promedio la mayor eficiencia técnica respecto de las fronteras específicas de producción, lo cual sugiere un mejor aprovechamiento de los insumos frente a los hogares de las otras regiones.

Cuadro 5
Medidas de eficiencia para el sector agropecuario

(pesos)	Razón de la brecha tecnológica (RBT)		Eficiencia técnica por sistema (ET)		Eficiencia técnica de la metafrontera (ETM)	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Total sistema	0,8209	0,1247	0,5595	0,1915	0,4547	0,1628
Por sistema de producción						
Sistema 1	0,9877	0,0078	0,5084	0,1806	0,5023	0,1786
Sistema 2	0,8608	0,1304	0,4895	0,2551	0,4162	0,2251
Sistema 3	0,8226	0,0605	0,5511	0,1875	0,4527	0,1583
Sistema 4	0,712	0,0642	0,6108	0,1701	0,4361	0,1313
Por valor de la producción						
Mayor de 6.000.000	0,8353	0,122	0,7519	0,0719	0,6263	0,0997
Entre 2.000.001 y 6.000.001	0,8233	0,1171	0,6748	0,1094	0,5527	0,1068
Menor de 2.000.0000	0,8177	0,1292	0,4681	0,1853	0,3759	0,1481
Por vocación de la producción						
Exclusivamente agrícola	0,8301	0,1234	0,5347	0,1955	0,4427	0,1695
Exclusivamente pecuaria	0,8168	0,1352	0,5384	0,1834	0,4321	0,1515
Agrícola y pecuaria	0,7945	0,1199	0,6371	0,1608	0,502	0,1367
Por región						
Caribe	0,9928	0,0011	0,5102	0,1837	0,5065	0,1823
Oriental	0,7748	0,1084	0,585	0,1808	0,4529	0,1545
Central	0,8202	0,113	0,5393	0,1967	0,436	0,1565
Pacífica	0,7927	0,108	0,5643	0,1939	0,4423	0,1558
Valle	0,8828	0,1332	0,5245	0,2537	0,4623	0,2411

Fuente: cálculos de los autores.

6. Conclusiones

Este documento evalúa la eficiencia del sector agropecuario del país utilizando una muestra de 1.565 hogares con producción agropecuaria menor o igual a $8 millones. El análisis empírico se realiza a través de la técnica de metafrontera estocástica, que permite evaluar la eficiencia técnica cuando la producción se lleva a cabo en diferentes sistemas productivos, que no pueden ser evaluados bajo una misma frontera de producción.

Los resultados permiten destacar tres mensajes centrales: i) las medidas de eficiencia derivadas de las fronteras específicas de cada sistema productivo alcanzan en promedio 56%; ii) la eficiencia con respecto a la metafrontera del sector está alrededor de 46%; y iii) la brecha tecnológica, que mide la distancia entre las fronteras específicas y la metafrontera, es en promedio 82%. Estos resultados sugieren que para mejorar la productividad y la eficiencia del sector agropecuario se debe trabajar en dos contextos: en primer lugar, con medidas que contribuyan a mejorar la eficiencia de los hogares frente a la frontera específica del sistema productivo donde se encuentran localizados, las cuales, como lo plantea Perry (2013), podrían incluir facilidades de acceso a factores productivos (tierra, agua, tecnología, capital) y a bienes públicos (salud, educación, infraestructura); en segundo lugar, con políticas que ayuden a reducir la brecha tecnológica de los sistemas productivos frente a la metafrontera del sector, incluyendo, como lo plantean Junguito *et al.* (2014), las destinadas a incentivar la investigación y el cambio técnico, así como la construcción de distritos de riego y centros de acopio.

Cuando se analiza la eficiencia de los hogares por sistema productivo se encuentra que los hogares con mayor valor de producción registran, en promedio, las medidas de eficiencia técnica más altas y la menor dispersión en los datos. Estos resultados son comunes en todos los sistemas, con un coeficiente de correlación positivo entre las dos variables de 0,72. A pesar de que el análisis se concentra en los hogares con valor de la producción inferior a $8 millones, los resultados sugieren que los hogares con mayor producto tienen ventajas en la escala de producción y, en esta medida, obtienen mejores resultados en términos del aprovechamiento de los insumos. Si se tiene en cuenta que un porcentaje significativo del empleo rural y de la producción agropecuaria se realiza en Colombia por pequeños productores, los resultados destacan la importancia de adelantar políticas orientadas a mejorar las condiciones del pequeño productor y de sus familias.

Al comparar las medidas de eficiencia técnica obtenidas en las fronteras de producción específicas de los sistemas productivos con las derivadas de la metafrontera, se encuentra que los hogares con más altos valores de producción también tienden a estar más cerca del potencial definido por la metafrontera del sector. Por otro lado, las diferencias obtenidas en las medidas de eficiencia de los hogares frente a las fronteras específicas y la metafrontera sugieren que los hogares de algunos sistemas se podrían estar beneficiando de mejores condiciones debido a ventajas en la dotación de recursos naturales y clima, así como por entornos ambientales más amables. Por ejemplo, los hogares ubicados en municipios con alturas entre 0 y 600 m s. n. m. tienden a estar más cerca de la producción potencial definida por la metafrontera, mientras que los hogares ubicados en municipios con alturas superiores a 1.900 m s. n. m. registran en promedio la eficiencia técnica más alta con respecto a la frontera específica de su sistema, pero tienden a estar más lejos de la producción potencial definida por la metafrontera del sector.

Referencias

Adhikari, C. B.; Bjorndal, T. (2012). "Analyses of technical efficiency using SFA and DEA models: Evidence from Nepalese agriculture", *Applied Economics*, vol. 44, núm. 1, pp. 3297-3308.

Ahmed, N.; Zander, K. K.; Garnett, S. T. (2011). "Socioeconomics aspects of rice-fish farming in Bangladesh: Opportunities, challenges and production efficiency", *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, núm. 55, pp. 199-219.

Ajibefun, I. A.; Daramola, A. G.; Falusi, A. O. (2006). "Technical efficiency of small-scale farmers: An application of the Stochastic Frontier Production function to rural and urban farmers in Onto State, Nigeria", *International Economic Journal*, vol. 20, núm. 1, pp. 87-107.

Amores, A. F.; Contreras, I. (2009). "New approach for the assignment of new European agricultural subsidies using scores from DEA: Application to olive-growing farms in Andalusia (Spain)", *European Journal of Operational Research*, vol. 193, núm. 1, pp. 718-729.

Atici, K. B.; Podinovski, V. V. (2015). "Using data envelopment analysis for the assessment of technical efficiency of units with different specialisations: An application to agriculture", *The International Journal of Management Science*, vol. 54, núm. 1, pp. 72-83.

Battese, G. E.; Coelli, T. J. (1995). "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data", *Empirical Economics*, vol. 20, núm. 1, pp. 325-332.

Battese, G. E.; Rao, D. S. (2002). "Technology gap, efficiency, and a stochastic metafrontier function", *International Journal of Business and Economics*, vol. 1, núm. 2, pp. 87-93.

Battese, G. E.; Rao, D. S.; O'Donnell, C. J. (2004). "A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies", *Journal of Productivity Analysis*, vol. 21, núm. 1, pp. 91-103, Kluwer Academic Publisher.

Bravo-Ureta, B. E.; Pinheiro, A. E. (1997). "Technical, economic, and allocative efficiency in peasant farming: Evidence from the Dominican Republic", *The Developing Economies*, vol. 35, núm. 1, pp. 48-67.

Brümmer, B. (2001). "Estimating confidence intervals for technical efficiency: The case of private farms in Slovenia", *European Review of Agricultural Economics*, vol. 28, núm. 3, pp. 285-306.

Bustillo, A. E. (2006). "Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae*), en Colombia", *Revista Colombiana de Entomología*, vol. 32, núm. 2, pp. 101-116.

Cano, C. G. (2013). "La agricultura colombiana de cara a los pactos bilaterales de comercio", Borradores de Economía, núm. 778, Banco de la República.

Cano, C. G.; Vallejo, C.; Caicedo, E.; Amador, J. S.; Tique, E. Y. (2012). "El mercado mundial del café y su impacto en Colombia", Borradores de Economía, núm. 710, Banco de la República.

Chavas, J. P.; Aliber, M. (1993). “An analysis of economic efficiency in agriculture: A nonparametric approach”, *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 18, núm. 1, pp. 1-16.

Chavas, J. P.; Petrie, R.; Roth, M. (2005). “Farm household production efficiency: Evidence from The Gambia”, *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 87, núm. 1, pp. 160-179, Oxford University Press.

Coelli, T. J; Perelman, S.; Romano, E. (1999). “Accounting for environmental influences in stochastic frontier models: With application to international airlines”, *Journal of Productivity Analysis*, vol. 11, núm. 1, pp. 251-273.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2015). “Uso, cobertura y tenencia del suelo”, 3er Censo Nacional Agropecuario 2014. Resultados entrega 1 - septiembre 2 de 2015.

Fletschner, D.; Guirkinger, C.; Boucher, S. (2010). “Risk, credit constraints and financial efficiency in Peruvian agriculture”, *Journal of Develompent Studies*, vol. 46, núm. 6, pp. 981-1002.

Galvis, L. A. (2001). “¿Qué determina la productividad agrícola departamental en Colombia?”, Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, núm. 19, Banco de la República, Cartagena.

Gamarra, J. R. (2004). “Eficiencia técnica relativa de la ganadería doble propósito en la costa Caribe”, Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, núm. 53, Banco de la República, Cartagena.

Gómez, H. J.; Restrepo, J. C.; Nash, J.; Valdés, A.; Reina, M.; Zuluaga, S., … Perfetti, J. J. (2011). “La política comercial del sector agrícola en Colombia”, *Cuadernos de Fedesarrollo*, núm. 48. Fedesarrollo.

Gonzáles, M. A.; López, R. A. (2003). “Market-based land reform and farm efficiency in Colombia: A DEA approach”, Paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Montreal, Canada, julio 27-30.

Gonzáles, M. A.; López, R. A. (2007). “Political violence and farm household efficiency in Colombia”, *Economic Development and Cultural Change*, vol. 55, núm. 2, pp. 367-392, The University of Chicago Press.

Hayami, Y.; Ruttan, V. W. (1971). *Agricultural development: An international perspective*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Huang, C. J.; Huang, T. H.; Liu, N. H. (2014). “A new approach to estimating the metafrontier production function based on a stochastic frontier framework”, *Journal of productivity Analysis*, vol. 42, núm. 1, pp. 241-254.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). “Conflictos de uso del territorio colombiano escala 1:1000.000”, Convenio marco de cooperación, Bogotá.

Jiang, N.; Sharp, B. (2015). “Technical efficiency and technological gap of New Zealand dairy farms: A stochastic metafrontier model”, *Journal of Productivity Analysis*, vol. 44, núm. 1, pp. 39-49.

Junguito, R.; Perfetti, J. J.; Becerra, A. (2014). “Desarrollo de la agricultura colombiana”, *Cuadernos de Fedesarrollo*, núm. 48, Fedesarrollo.

Kompas, T.; Nhu Che, T. (2006). “Technology choice and efficiency on Australian dairy farms”, *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, núm. 50, pp. 65-83.

Kumbhakar, S. C.; Biswas, B.; Bailey, D. (1989). “A study of economic efficiency of Utah dairy farmers: A system approach”, *The Review of Economics and Statistics*, vol. 71, núm. 4, pp. 595-604.

Kuo, H. F.; Chen, H. L.; Tsou, K. W. (2014). “Analysis of farming environmental efficiency using a DEA model with undesirable outputs”, *Procedia APCBEE*, vol. 10, núm. 1, pp. 154-158.

Lansink, A. O.; Pietola, K.; Bäckman, S. (2002). “Efficiency and productivity of conventional and organic farms in Finland 1994-1997”, *European Review of Agricultural Economics*, vol. 29, núm. 1, pp. 51-65.

Latruffe, L.; Balcombe, K.; Davidova, S.; Zawalinska, K. (2004). “Determinants of technical efficiency of crop and livestock farms in Poland”, *Applied Economics*, vol. 36, núm. 1, pp. 1255-1263.

Ludena, C. E. (2010). “Agricultural productivity growth, efficiency change and technical progress in Latin America and the Caribbean”, working paper, núm. 186, Banco Interamericano de Desarrollo.

Machado, A.; Botello, S. (2014). “Colombia: a valorar la agricultura familiar”, en Fondo Nacional de Desarrollo Agrícola (ed.), *La agricultura familiar en América Latina*, cap. 8, pp. 180-197, Roma.

Melo, L.; Espinosa, N. (2005). “Ineficiencia en la distribución de energía eléctrica: una aplicación de las funciones de distancia estocástica”, *Revista Ensayos sobre Política Económica*, vol. 49, núm. 1, pp. 88-132

Michler, J. D.; Shively, G. E. (2015). “Land tenure, tenure security and farm efficiency: Panel evidence from the Philippines”, *Journal of Agricultural Economics*, vol. 66, núm. 1, pp. 155-169, The Agricultural Economics Society.

Miljkovic, D.; Miranda, S. H.; Shaik, S. (2013). “Trade openness and technical efficiency in Brazilian agriculture”, *Applied Economics Letters*, vol. 20, núm. 1, pp. 103-106.

Moreno, A. (2007). “Fundamentos sobre sistemas de producción”, en J. Arcila, F. Farfán, A. Moreno, L. F. Salazar y E. Hincapié (eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia*, cap. 1, pp. 15-21, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y Cenicafé.

Morrison, C. J.; Nehring, R.; Banker, D. (2004). “Productivity, economies and efficiency in U.S. agriculture: A look at contracts”, *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 86, núm. 5, pp. 1308-1314.

O’Donnell, C. J.; Rao, D. S.; Battese, G. E. (2008). “Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios”, *Empirical Economics*, vol. 34, núm. 1, pp. 231-255.

Paul, M. C.; Nehring, R.; Banker, D.; Somwaru, A. (2004). “Scale economies and efficiency in U.S. agriculture: Are traditional farms history?”, *Journal of Productivity Analysis*, vol. 22, núm. 1, pp. 185-205.

Perdomo, J. A.; Hueth, D. (2010). “Funciones de producción y eficiencia técnica en el Eje Cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica” *Documentos CEDE*, núm. 21, Universidad de los Andes.

Perdomo, J. A.; Mendieta, J. C. (2007). “Factores que afectan la eficiencia técnica y asignativa en el sector cafetero colombiano: una aplicación con análisis envolvente de datos”, *Desarrollo y Sociedad*, núm. 60, pp. 1-45.

Perfetti, J. J.; Balcázar, A.; Hernández, A.; Leibovich, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*, Colombia: Fedesarrollo, SAC, Incoder, Finagro, Banco Agrario.

Perry, S. (2013). *Agricultura familiar y seguridad alimentaria en los países andinos*, Grupo Diálogo Rural, Conocimiento y Cambio en Pobreza Rural y Desarrollo.

Rao, D. S. ; O’Donnell, C. J. ; Battese, G. E. (2003). “Metafrontier functions for the study of inter-regional productivity differences”, working paper series, núm. 1, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of Queensland.

Rezitis, A. N.; Tsiboukas, K.; Tsoukalas, S. (2002). “Measuring technical efficiency in the Greek agricultural sector”, *Applied economics*, vol. 34, núm. 1, pp. 1345-1357.

Rivera, B.; Nieto, A. M. (2002). “Sistema asociado café-granadilla: una práctica sobresaliente desarrollada por pequeños caficultores del norte del Valle (Colombia)”, *Simposio latinoamericano sobre investigación y extensión en sistemas agropecuarios (IESA-AL V)*, Florianápolis, Brasil, mayo 20-23.

Ruiz de Londoño, N.; Pinstrup-Andersen, P. (1975). *Descripción de factores asociados con bajos rendimientos de maíz en fincas pequeñas de tres departamentos de Colombia*, Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Salim, R.; Hossain, A. (2006). “Market deregulation, trade liberalization and productive efficiency in Bangladesh agriculture: An empirical analysis”, *Applied Economics*, vol. 38, núm. 1, pp. 2567-2580.

Skevas, T.; Lansink, A. O.; Stefanou, S. E. (2012). “Measuring technical efficiency in the presence of pesticide spillovers and production uncertainty - The case of Dutch arable farms”, *European Journal of Operational Research*, vol. 223, núm. 1, pp. 550-559.

Trujillo, J. C.; Iglesias, W. J. (2013). “Measurement of the Technical Efficiency of Small Pineapple Farmers in Santander, Colombia: A stochastic frontier approach”, *Revista de Economia e Sociologia Rural*, núm. 51 (S1), pp. 5049-5062.

Vergara, W. (2010). “La ganadería extensiva y el problema agrario. El reto de un modelo de desarrollo rural sustentable para Colombia”, *Revista Ciencia Animal*, núm. 3, pp. 45-53.

Anexos

Anexo A

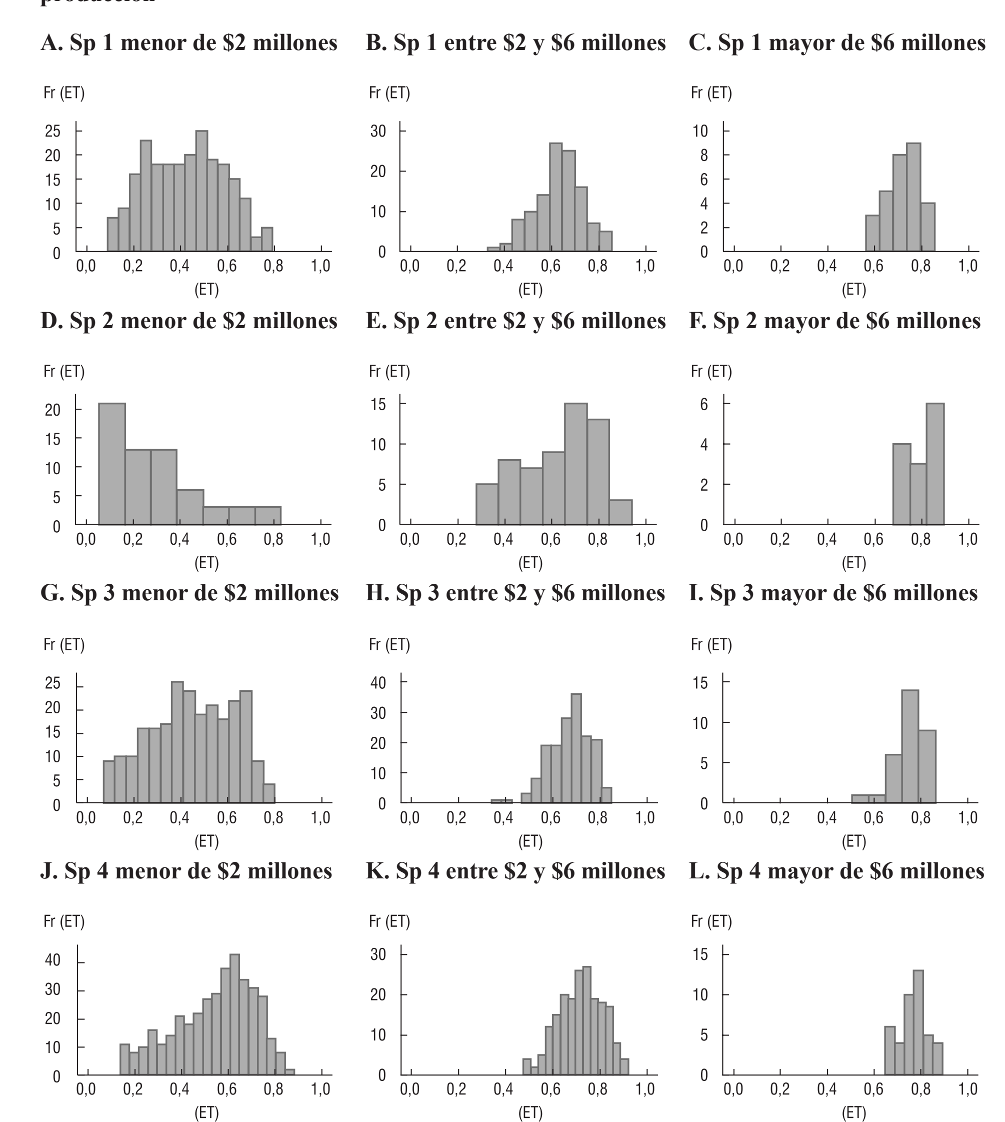
Cuadro A1.1
Prueba de la razón de verosimilitud: Cobb-Douglas *vs*. Función *translog*[a]

Sistema	Hipótesis nula	Chi^2 (3) Prob > chi^2
Sistema 1	$H_0{:}\beta_{ji} = 0$	3,46 (0,3264)
Sistema 2		15,62 (0,0014)***
Sistema 3		2,79 (0,4258)
Sistema 4		5,73 (0,1254)
Metafrontera		1.062,96 (0,000)***

a/ Para realizar el test se mantienen las variables ambientales.
*** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.
Fuente: cálculos de los autores.

Anexo B

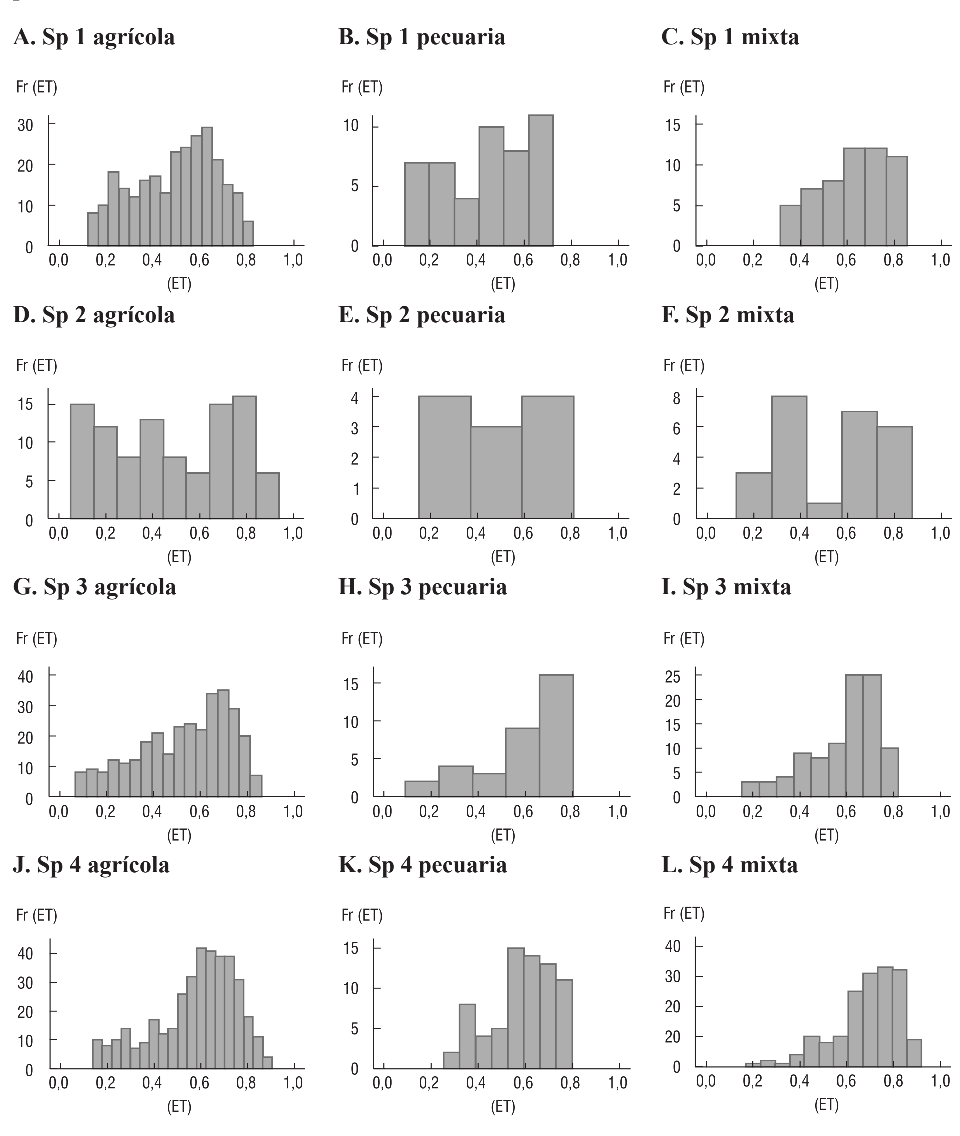
Gráfico B1.1
Distribución de frecuencias de la eficiencia técnica por sistema productivo y tamaño de la producción[a/]



a/ Sp corresponde a sistema productivo.
Fuente: cálculos de los autores.

Anexo C

Gráfico C1.1
Distribución de frecuencias de la eficiencia técnica por sistema productivo y vocación de la producción[a/]

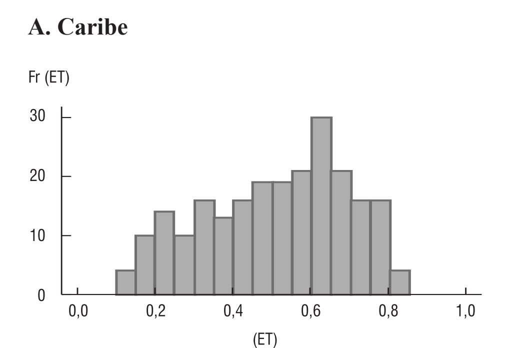


a/ Sp corresponde a sistema productivo.
Fuente: cálculos de los autores.

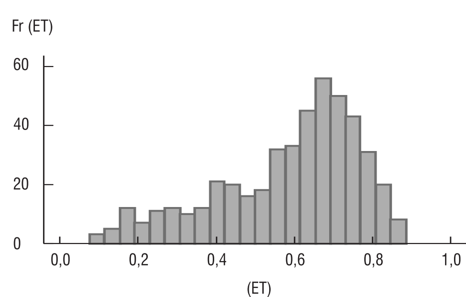
Anexo D

Gráfico D1.1
Distribución de frecuencias de la eficiencia técnica por región

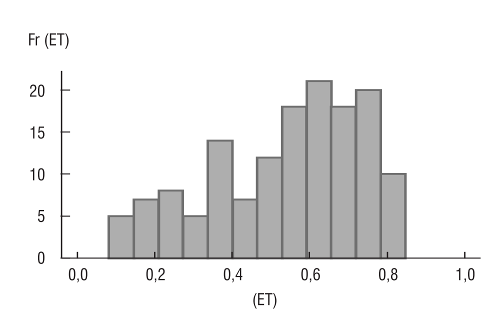
A. Caribe



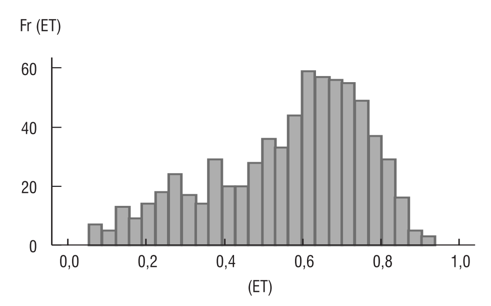
B. Oriental



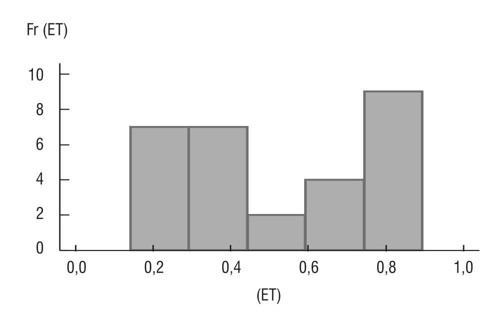
C. Central



D. Pacífica



E. Valle del Cauca



Fuente: cálculos de los autores.